

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy



Podavač prachového uhlí

Feeder of coal dust

Student:

Jan Diviš

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Nečas, Ph.D.

Ostrava 2015

Zadání bakalářské práce

Student:

Jan Diviš

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2302R003 Dopravní stroje a manipulace s materiálem

Téma:

Podavač prachového uhlí
Feeder of Coal Dust

Zásady pro vypracování:

Pro svodku paliva navrhnete podavač prachového uhlí. Jedná se o dopravní trasu jemně semletého práškového uhlí ze zásobníků přes svodky a podavače do práškovodu. Parametry paliva stanovte z měření mechanicko-fyzikálních vlastností.

- 1) Rešerši vhodných typů podavačů
- 2) Měření mechanicko-fyzikálních vlastností práškového uhlí
- 3) Navrhnete vhodný podavač
- 4) Proveďte potřebné technologické výpočty
- 5) Proveďte potřebné konstrukční výpočty
- 6) Konstrukční řešení podavače

Seznam doporučené odborné literatury:

Zegzulka, J.: Mechanika sypkých hmot. Laboratoř sypkých hmot. Ostrava: VŠB-TUO, 2004

Jasaň, V.: Teória a stavba dopravníkov. Bratislava: TU Košice, Alfa Bratislava, 1984

Pešat, Z.: Manipulace v hutích. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1992.

Fiala, J.: Strojnické tabulky. Praha: SNTL Praha, 1989.

Firemní literatura a potřebné normy

Metody měření a vyhodnocení měřených vzorků Laboratoře sypkých hmot. Ostrava: VŠB – TU Ostrava

Polák, J., Pavliska, J., Slíva, A.: Dopravní a manipulační zařízení I. Ostrava: ES VŠB-TUO, 2001

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

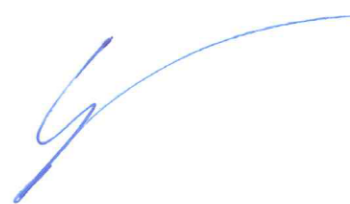
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Nečas, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlášení o využití výsledků práce

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

.....

Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Adresa trvalého pobytu autora práce:

ANOTACE BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Diviš Jan. *Podavač prachového uhlí*. Bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2015, 61 s. Vedoucí práce: Ing. Nečas, J. Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá návrhem podavače práškového uhlí. Palivo je odebíráno ze zásobníku s plochým dnem, který je plněn shora. Podavač práškového uhlí je konstrukčně navrhován pro dopravované množství $Q_v = 12 \text{ [m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$. Pracovní výška vertikálního turniketového podavače je $h = 130 \text{ [mm]}$ a jeho vnitřní průměr $D = 800 \text{ [mm]}$. Optimální pracovní otáčky podavače jsou $n_{\text{opt}} = 9,2 \text{ [min}^{-1}]$.

Práce obsahuje řešerši vhodných typů podavačů. Podávaný materiál je podroben měření vybraných mechanicko-fyzikálních vlastností sypkých hmot. Získané hodnoty jsou použity pro technologický výpočet a návrh podavače. Dále jsou provedeny konstrukční výpočty podavače. V přílohách je uveden výkres sestavy podavače.

ANNOTATION BACHELOR THESIS

Diviš Jan. *Feeder of coal dust*. Bachelor thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institut of Transport, 2015, 61 p. Thesis supervisor: Ing. Nečas, J. Ph.D.

The bachelor thesis deals with a design of a coal dust feeder. Fuel is removed from a top-filled bin with a flat bottom. The coal dust feeder is structurally designed for transported quantity of $Q_v = 12 \text{ [m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$. The operational height of a vertical valve feeder is $h = 130 \text{ [mm]}$ and its inner diameter is $D = 800 \text{ [mm]}$. The optimum operational rotation speed of a rotary feeder is $n_{\text{opt}} = 9,2 \text{ [min}^{-1}]$.

The thesis includes a research of appropriate feeder types. Transported material is measured for obtaining selected mechanical and physical properties of bulk solid. The obtained values are used for the technological calculation and the design of the feeder. Structural calculations are made further. The assembly drawing is documented in the enclosure of the bachelor thesis.

Obsah

Seznam použitých jednotek a značek	8
1 Úvod	12
2 Rešerše vhodných typů podavačů	13
2.1 Podavače rotační	13
2.2 Komůrkové (vertikální turniketové) podavače a dávkovače	15
2.2.1 Metody podávání komůrkových podavačů	15
2.2.2 Gravimetrický podavač	16
2.2.3 Komůrkový podavač pro dávkování různých druhů suchých materiálů	16
2.2.4 Komůrkový podavač pro dávkování roztaveného popílku	17
2.2.5 Komůrkový podavač pro dávkování biomasy	18
2.2.6 Komůrkový podavač pro moučné a vlhké materiály	19
2.3 Turniketové podavače	22
2.3.1 Convey-through	23
2.3.2 Drop-through	24
2.3.3 Easy-clean	24
2.3.4 Podavač s filtrovacími lopatkami (filter valve)	25
2.3.5 Rotační podavač s nožem	25
2.3.6 Další turniketové podavače	26
2.3.7 Typy rotorů turniketových podavačů	26
2.4 Volba podavače	29
3 Měření mechanicko-fyzikálních vlastností práškového uhlí	30
3.1 Měření kompresibility	30
3.2 Měření granulometrie	31
3.3 Měření vnitřního a vnějšího tření	33
3.4 Měření sypné hmotnosti	34
3.5 Tabulka naměřených hodnot	34
4 Technologické výpočty	35
4.1 Volba parametrů a výpočet otáček podavače	35
4.2 Výpustný otvor zásobníku	36
4.3 Kontrola objemového toku	38
4.4 Tlaky v zásobníku	40
4.5 Pracovní výška podavače	41
4.6 Síla potřebná k utržení vrstvy materiálu	43

4.7	Síla vyvozená třením materiálu o boky podavače.....	43
4.8	Síla vyvozená třením materiálu o dno podavače.....	46
4.9	Síla vyvozená třením lopatek o dno	46
4.10	Potřebný příkon elektromotoru a jeho volba.....	47
5	Konstrukční výpočty	49
5.1	Hřídel rotačního podavače a výpočet per	49
5.2	Spojka mezi převodovkou a podavačem.....	50
5.3	Výpočet svarového spoje lopatkového kola.....	53
5.4	Kontrola ložiska	54
6	Konstrukční řešení.....	57
6.1	Technologický popis	57
7	Závěr.....	58
8	Použitá literatura a zdroje	59
8.1	Požítá literatura	59
8.2	Internetové odkazy	59
8.3	Výkresová dokumentace	60
8.4	Seznam příloh.....	61

Seznam použitých jednotek a značek

D	Vnitřní průměr podavače	[m]
D _S	Roztečná kružnice šroubů na spojce	[m]
F	Síla na roztečné kružnici šroubů	[N]
F ₂	Zatěžující síla na pero	[N]
F ₃	Síla působící na lopatku	[N]
F _a	Axiální síla na ložisko	[N]
F _c	Celkový odpor podavače	[N]
F _i	Síla na jeden šroub	[N]
F _J	Vertikální Janssenova síla	[N]
F _{J2}	Horizontální Janssenova síla	[N]
F _{LD}	Síla vyvozená třením lopatek o dno podavače	[N]
F _{MD}	Síla vyvozená třením materiálu o dno podavače	[N]
F _{MB}	Síla vyvozená třením materiálu o boky podavače	[N]
F _{OT}	Síla potřebná k utržení vrstvy materiálu	[N]
F _S	Střížná síla na pero	[N]
J _y	Kvadratický moment	[m ⁴]
K	Součinitel bezpečnosti	[-]
L _{10h}	Základní trvanlivost ložiska	[h]
L	Délka ocelové části lopatky	[m]
M _p	Potřebný krouticí moment na výstupu převodovky	[N.m]
M _V	Výpočtový moment pro návrh spojky	[N.m]
P _e	Příkon elektromotoru	[W]
Q _V	Dopravované množství práškového uhlí	[m ³ .h ⁻¹]
Q _{V1}	Objemový průtok výpustným otvorem (půlkruh)	[m ³ .h ⁻¹]
Q _{V1min}	Minimální objemový průtok výpustným otvorem	[m ³ .h ⁻¹]
Q _{V2}	Objemový průtok výpustným otvorem (kruh)	[m ³ .h ⁻¹]
Q _{V3}	Objemový průtok výpustným otvorem (čtverec)	[m ³ .h ⁻¹]
R ₀	Hydraulický poloměr výpustného otvoru zásobníku	[m]
R ₁	Hydraulický poloměr svodky	[m]
R _{1min}	Hydraulický poloměr minimálního výpustného otvoru	[m]
R ₂	Hydraulický poloměr svodky	[m]
R ₃	Hydraulický poloměr zásobníku	[m]
R _e	Mez kluzu šroubu	[Pa]

R_M	Mez pevnosti materiálu lopatek	[Pa]
$R_{p0,2}$	Mez kluzu materiálu lopatek	[Pa]
R_{S1}	Hydraulický poloměr výpustného otvoru (půlkruh)	[m]
R_{S2}	Hydraulický poloměr výpustného otvoru (kruh)	[m]
R_{S3}	Hydraulický poloměr výpustného otvoru (čtverec)	[m]
R_T	Těžiště jedné komůrky	[m]
S_1	Teoretická plocha celé komůrky	[m ²]
$S_{1š}$	Plocha na otlak šroubu	[m ²]
S_2	Plocha nevyužitelného prostoru jedné komůrky	[m ²]
$S_{2š}$	Plocha na otlak šroubu	[m ²]
S_{S1}	Plocha výpustného otvoru (půlkruh)	[m ²]
S_{S2}	Plocha výpustného otvoru (kruh)	[m ²]
S_{S3}	Plocha výpustného otvoru (čtverec)	[m ²]
S_p	Pracovní plocha podavače	[m ²]
$S_{výpmin}$	Minimální plocha výpustného otvoru	[m ²]
V_1	Objem jedné komůrky	[m ³]
a	Výška svaru	[m]
b	Strana čtverce výpustného otvoru	[m]
b_p	Šířka pera	[m]
d	Vnější průměr náboje lopatkového kola	[m]
d_2	Průměr kruhového výpustného otvoru	[m]
d_3	Průměr dřívku šroubu	[m]
$d_č$	Průměrná velikost částic práškového uhlí	[m]
d_h	Válcový konec hřídele	[m]
d_p	Průměr hřídele pod lopatkovým kolem	[m]
$d_{výpmin}$	Průměr minimálního výpustného otvoru zásobníku	[m]
d'	Navrhovaný nejmenší průměr šroubu na střih	[m]
f_i	Součinitel vnitřního tření materiálu	[-]
f_{op}	Součinitel vnějšího tření nerez – plast Murtfeldt	[-]
f_{wn}	Součinitel vnějšího tření prášek – nerez	[-]
f_{wp}	Součinitel vnějšího tření prášek – plast Murtfeldt	[-]
f_{wpl}	Součinitel vnějšího tření prášek – plech	[-]
g	Gravitační zrychlení	[m.s ⁻²]
h'	Výpočtová výška podavače	[m]
h	Skutečná výška podavače	[m]

i	Počet lopatek	[-]
i_{ges}	Převodový poměr převodovky	[-]
i_s	Počet šroubů	[-]
k	Součinitel pasivního tlaku	[-]
k_S	Součinitel bezpečnosti	[-]
k_{ss}	Součinitel bezpečnosti svaru	[-]
k_ϕ	Součinitel plnění podavače	[-]
l	Délka koutového svaru	[m]
l_1	Délka šroubu pod přírubou	[m]
l_2	Délka šroubu pod přírubou bez závitové části	[m]
l_p	Délka pera pod lopatkovým kolem	[m]
l_p'	Výpočtová délka pera pod lopatkovým kolem	[m]
l'	Výpočtová délka koutového svaru	[m]
m_{lk}	Hmotnost lopatkového kola	[kg]
n_{opt}	Optimální otáčky	[min ⁻¹]
o_1	Obvod výpustného otvoru (půlkruh)	[m]
o_2	Obvod výpustného otvoru (kruh)	[m]
o_3	Obvod výpustného otvoru (čtverec)	[m]
$o_{výpmin}$	Obvod minimálního výpustného otvoru zásobníku	[m]
p_1	Napětí na otlak na dřík šroubu	[Pa]
p_2	Napětí na otlak na dřík šroubu	[Pa]
p_{DP}	Dovolený tlak ocel na ocel	[Pa]
p_D	Dovolené namáhání pro ocelové šrouby a ocelovou přírubu	[Pa]
r	Poloměr půlkruhového výpustného otvoru	[m]
r_1	Vnitřní poloměr podavače	[m]
r_2	Poloměr vnějšího rozměru náboje lopatkového kola	[m]
s	Tloušťka ocelové části lopatky	[m]
t	Tloušťka lopatek	[m]
t'	Tloušťka svaru	[m]
t_1	Výška pera v náboji	[m]
v_{lmin}	Minimální rychlost vypadávání materiálu z výpustného otvoru	[m.s ⁻¹]
v_{S1}	Rychlost vypadávání materiálu z výpustného otvoru (půlkruh)	[m.s ⁻¹]
v_{S2}	Rychlost vypadávání materiálu z výpustného otvoru (kruh)	[m.s ⁻¹]
v_{S3}	Rychlost vypadávání materiálu z výpustného otvoru (čtverec)	[m.s ⁻¹]
x_1	Těžiště plochy celé komůrky na ose x	[m]

x_2	Těžiště nevyužitelné plochy jedné komůrky na ose x	[m]
α	Úhel rozvoru výpustného otvoru	[°]
β	Úhel mezi lopatkami	[°]
η	Účinnost převodovky	[-]
π	Ludolfovo číslo	[-]
ρ_s	Sypná hmotnost práškového uhlí	[kg.m ⁻³]
ρ_p	Objemová hustota plastu Murtfeldt	[kg.m ⁻³]
σ_{10}	Vertikální tlak ve výpustném otvoru	[Pa]
σ_{11}	Vertikální tlak ve svodce	[Pa]
σ_{12}	Vertikální tlak ve svodce	[Pa]
σ_{13}	Vertikální tlak v zásobníku	[Pa]
σ_{20}	Horizontální tlak ve výpustném otvoru	[Pa]
σ_{21}	Horizontální tlak ve svodce	[Pa]
σ_{22}	Horizontální tlak ve svodce	[Pa]
σ_{23}	Horizontální tlak v zásobníku	[Pa]
τ_{DSP}	Dovolené smykové napětí pro pero	[Pa]
τ_{DS}	Dovolené smykové napětí	[Pa]
τ_{SP}	Smykové napětí pera	[Pa]
τ_o	Počáteční smykové napětí neboli soudržnost	[Pa]
$\tau_{\perp D}$	Dovolené smykové napětí kolmého ke svaru	[Pa]
τ_{\perp}	Smykové napětí kolmé ke svaru	[Pa]
φ_i	Úhel vnitřního tření práškového uhlí	[°]
ω	Úhlová rychlost lopatek	[min ⁻¹]

1 Úvod

Téma této bakalářské práce je podavač prachového uhlí. Podavač za chodu vynáší materiál ze zásobníku a dávkuje jej do práškovodu. Za klidu plní podavač funkci uzávěru zásobníku. Palivo je odebíráno ze zásobníku s plochým dnem, který je plněn shora. Podavač prachového uhlí je umístěn pod svodkou zásobníku tak, že z jedné strany je plněn násypným otvorem podavače. Lopatkové kolo hrne materiál v tělu podavače ve směru otáčení. Materiál opouští podavač výsypným otvorem umístěným zrcadlovitě na druhé straně rotačního podavače. Materiál je tak teoreticky hrnut otočením o $180 [^\circ]$ kolem osy podavače. Množství dopravovaného materiálu je přímo úměrné objemu materiálu mezi lopatkami v závislosti na rychlosti otáčení. Změnou otáček rotačního podavače je možné měnit množství dopravovaného materiálu. Každý materiál má specifické vlastnosti, které je třeba při návrhu rotačního podavače zohlednit. Podávaný materiál musí být podroben měření vybraných mechanicko-fyzikálních vlastností. Získané hodnoty jsou použity pro technologický výpočet a návrh podavače.

Cílem této práce je tak návrh vhodného typu podavače pro dopravu dávkování prachového uhlí. Pro výběr správného typu rotačního podavače je potřeba zohlednit velikost podavače, prostorové uspořádání zařízení, vlastnosti dopravovaného materiálu a jiné.

Na začátku bakalářské práce je vypracovaná rešerše. V ní jsou uvedeny vhodné typy podavačů. Zaměření této rešerše je na rotační turniketové podavače.

Druhou částí bakalářské práce je technologický a konstrukční návrh vybraného typu rotačního turniketového podavače. Podavač práškového uhlí je konstrukčně navrhován pro dopravované množství $Q_V = 12 [m^3 \cdot h^{-1}]$. Důležité pracovní rozměry podavače je třeba přesně dimenzovat. Jedná se o pracovní výšku nebo šířku turniketového podavače $h [mm]$ a jeho vnitřní průměr $D [mm]$. Dalším důležitým parametrem jsou jeho optimální pracovní otáčky $n_{opt} [min^{-1}]$.

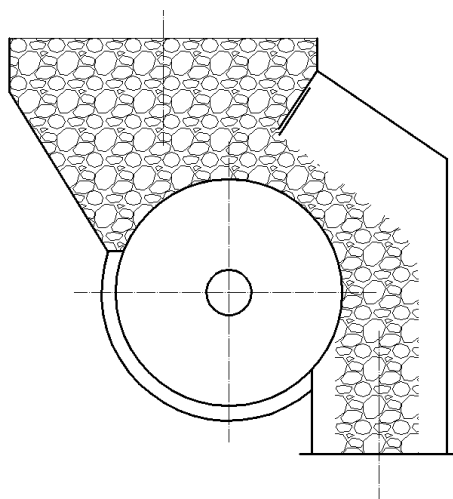
Na konci bakalářské práce jsou přiloženy přílohy a výkresová dokumentace.

2 Rešerše vhodných typů podavačů

Aby se zabránilo přímému pádu materiálu ze zásobníku na dopravník, používají se podavače. Ty rovnoměrně odebírají materiál ze zásobníku a podávají jej k dalšímu zařízení (mlýny, sběrné pásy, apod.). Je-li podavač nečinný, plní funkci uzávěru zásobníku.

2.1 Podavače rotační

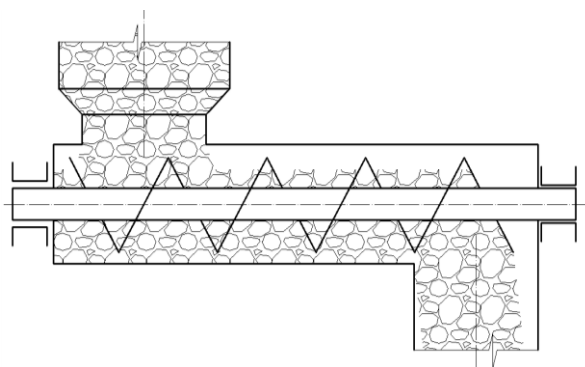
Podavače rotační jsou podavače šnekové, talířové, bubnové, turniketové (lopatkové) (Obr. 2.1 – Obr. 2.4). Slouží k dopravě a dávkování sypkých, nelepivých práškových materiálů z výsypek, odlučovačů a filtrů. Mohou vynášet materiál kontinuálně nebo cyklicky. Většinou dávkuje materiál do pneumatického dopravního systému.



Obr. 2.1 Bubnový podavač

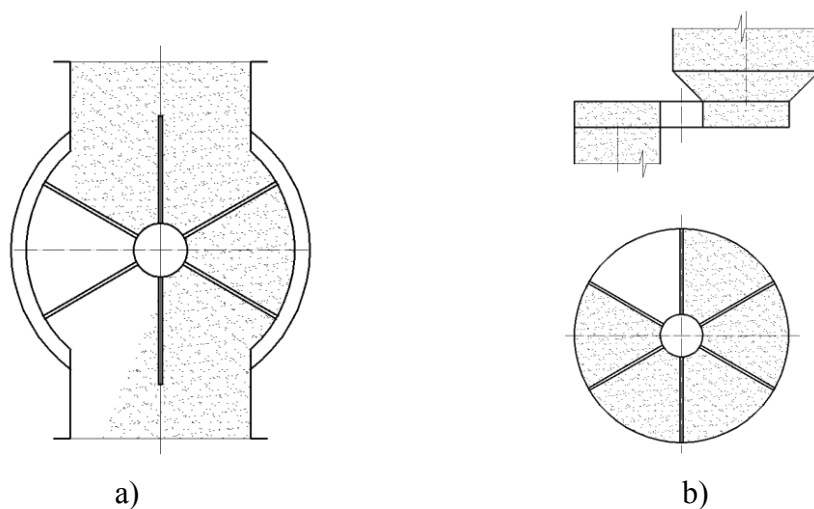
Užívají se jako vynášecí zařízení, případně ochranné systémy pro oddělení výbuchu, nebo jako uzávěry výsypek. Další užití rotačního podavače je jako vzduchotěsná komora přechodového místa. Propust je těsnění přetlakového systému, které chrání před ztrátou vzduchu nebo plynu, při zachování toku materiálu mezi komponenty s různým tlakem.

Pro podávání prášku se používají podavače komůrkové, turniketové a šnekové. Každý z druhů podavačů má své výhody i nevýhody pro konkrétní dopravovaný materiál a dopravní trasu. Práškové podavače se dimenzují s 50 [%] rezervou na jmenovitou spotřebu paliva.

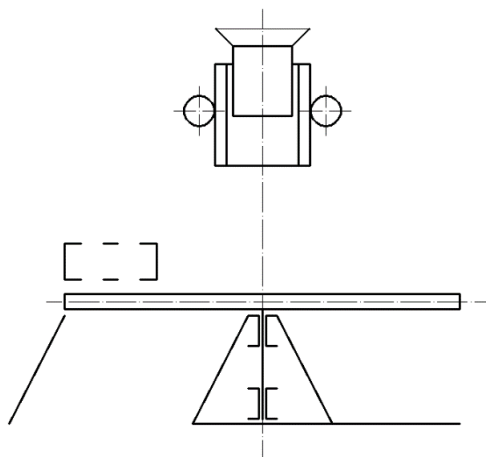


Obr. 2.2 Šnekový podavač

Při skladování popílku ve velkokapacitních silech záleží velmi na systému vyprazdňování, neboť popílek, ve spodních partiích vystavený vysokým tlakům, má sklon k silnému zhutnění a snížení tekutosti. Nežádoucí hutnění popílku v síle je eliminováno instalací vyprazdňovacího kužele nade dnem síla.



Obr. 2.3 Turniketový podavač a) vodorovný; b) svislý



Obr. 2.4 Talířový podavač

2.2 Komůrkové (vertikální turniketové) podavače a dávkovače

Komůrkový podavač (Obr. 2.3-b)) je rotační podavač schopný kontinuálně dávkovat sypký materiál při zachování vzduchotěsnosti, čímž zabraňuje prašnosti a zachovává ochranu proti výbuchu (provedení ATEX). Podávaný materiál jsou zejména suché prášky nebo granuláty, ale mohou to být i krystalky nebo pelety. Rotor se otáčí s osou ve vertikální poloze. Regulaci rychlosti podávaného materiálu zajišťuje elektromotor s frekvenčním měničem. Množství dodávaného materiálu je přímo závislé na hustotě materiálu proudícího proti směru lopatky rotoru.

Zapojíme-li stěrač do dávkovacího procesu, zajistíme rychlé a přesné plnění. Míchací kolo je v horní části zásobníku, ze kterého podává kontinuálně a rovnoměrně materiál, suchý prášek nebo malozrnnou sypkou hmotu k dalšímu zařízení. Tohoto způsobu dávkování se používá v uhelných elektrárnách k dodávkám paliva do kotlů. Práškové uhlí je komůrkovým podavačem vyneseno ze zásobníku do pneumatického potrubí, kterým je dopraveno do spalovacího kotle. Dávkované množství nám zaručuje možnost kontroly nad řízením tlaku a teploty.

Komůrkový podavač se dále používá ve stavebnictví, hutnictví, chemickém průmyslu a má různé provedení dle požadovaných technických parametrů.

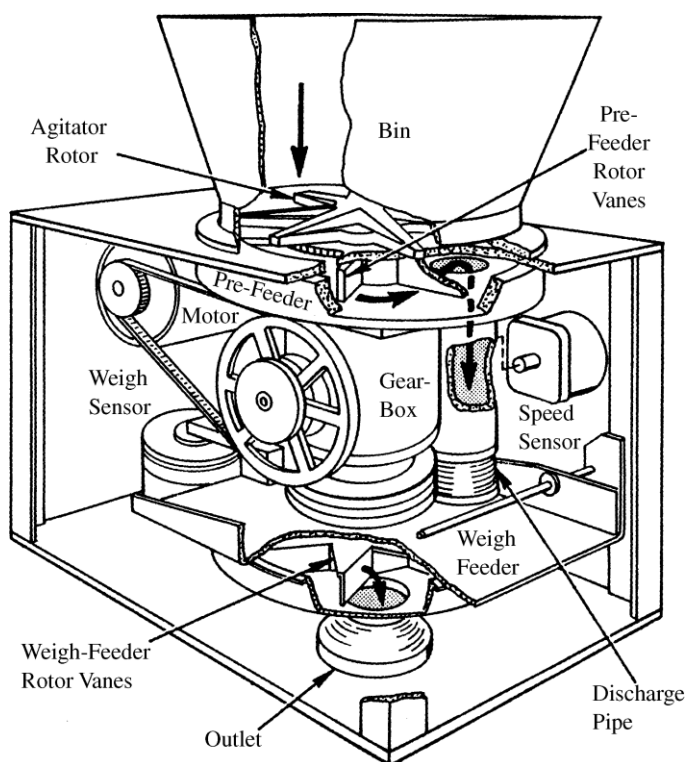
2.2.1 Metody podávání komůrkových podavačů

Podávání prášku dělíme na dvě metody. První z nich je volumetrická (objemová) metoda, kdy dávkujeme prášek stálým objemem, mechanicky tvořeným konstantním množstvím materiálu. Hmotnost podávaného prášku závisí na objemové hmotnosti prášku. Přesnost dávkování se zhoršuje, nebo úplně znemožní nevhodným spojením struktury podavače a vlastností materiálu. Množství podávání, tak může kolísat, nebo v horším případě se i zastavit. Způsobit to může adheze, kondenzace, přemostění, návaly prášku v zásobníku, transportní zařízení, které je umístěno v horní části toku, nebo vlivem jiného zařízení, které je umístěno ve spodní části toku materiálu. I když je dávkování materiálu dobré, nemůžeme v průběhu podávání tok materiálu zkontrolovat.

Druhým typem je gravimetrická (hmotnostní) metoda. Zařízení s touto metodou je schopno dávkovat materiál o stále hmotnosti. Skládá se z kontinuálního podavače s detektorem toku a řídicí jednotkou, která upravuje kapacitu podavače, aby vždy dodával přesné požadované množství. Existuje mnoho zařízení detektorů toku, zajišťujících hmotnost a její řízení.

2.2.2 Gravimetrický podavač

Na Obr. 2.5 je vyobrazen gravimetrický podavač. Míchací rotor zajišťuje ve spodní části výsypky schopnost materiálu proudit přes vstupní otvor. Materiál vstupuje v horní části podavače a je meten lopatkami rotoru dokola o 180 [°], než padá skrz výpustnou trubku. Materiál je měřen zároveň s rotační váhou podavače, zatímco dopravuje materiál k výsypce. Výhodou tohoto podavače je jeho vstupní a výstupní konfigurace. Je uzavřený a prachotěsný. Po kalibraci je výchylka $\pm 0,5$ [%] váhy plného výkonu, pokud je regulovaný poměr 5:1. Jedná-li se o poměr 20:1, pak mluvíme o výchylce ± 1 [%]. Hlavní nevýhodou tohoto provedení je limitované množství podávání a schopnost dopravovat pouze suché a volně tekoucí práškové materiály o průměru do 2,5 [mm]. Velké cizí předměty nejsou v procesu v materiálu tolerovány. Nelze přepravovat ani vlhké a ani lepkavé materiály, které by se lepily a zabraňovaly plynulému tečení.



Obr. 2.5 Gravimetrický komůrkový podavač [10]

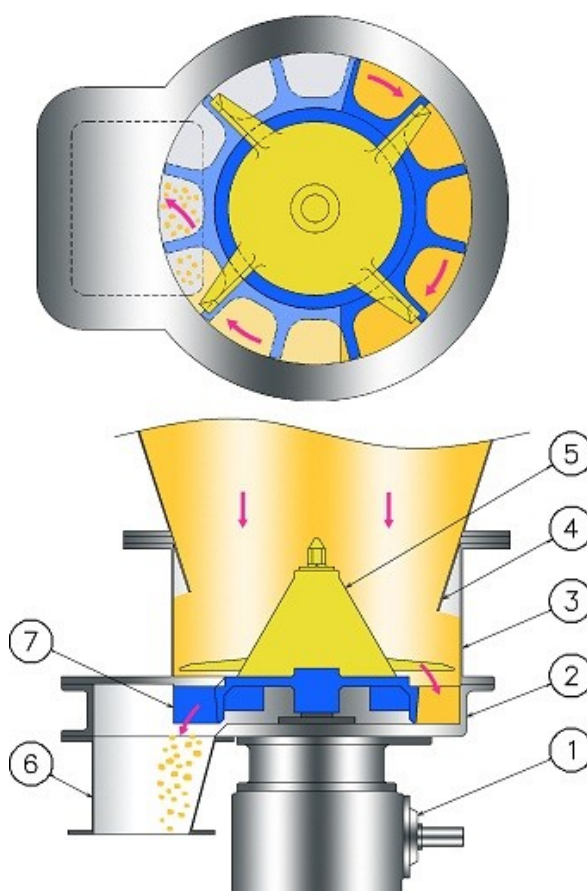
2.2.3 Komůrkový podavač pro dávkování různých druhů suchých materiálů

Na Obr. 2.6 je vidět podavač suchých prášků dávkovaných podle objemu, s vysokou přesností a zaručenou plynulostí dávkování. Zařízení je konstruováno pro různé vlastnosti

prášku a jeho stabilní přivádění. Je možno dávkování popílku a dalších adhezivních prášků jako cementu, hydrogenuhličitanu sodného a jiných pevně lepících prášků.

Požívá se například jako podavač chemických prášků do rozpustných nádrží pro přesnou koncentraci roztoků nebo podavač popílku u zařízení na spalování odpadů pro dávkování k dalšímu procesu.

Prášek je přiváděn přes hubici (4), která má za úkol přivést jej ke spodní nádobě (3). Materiál je uložen do podávacího stolu (7) v homogenním nestlačeném stavu, který zajistí míchací zařízení (5). Dále je dopravován do žlabu (6) podávacím stolem. Ten je připojen na poháněcí zařízení (1), které má měnič otáček pro možnost změny dopravovaného množství materiálu.



Obr. 2.6 Komůrkový podavač sypkých prášků [15]

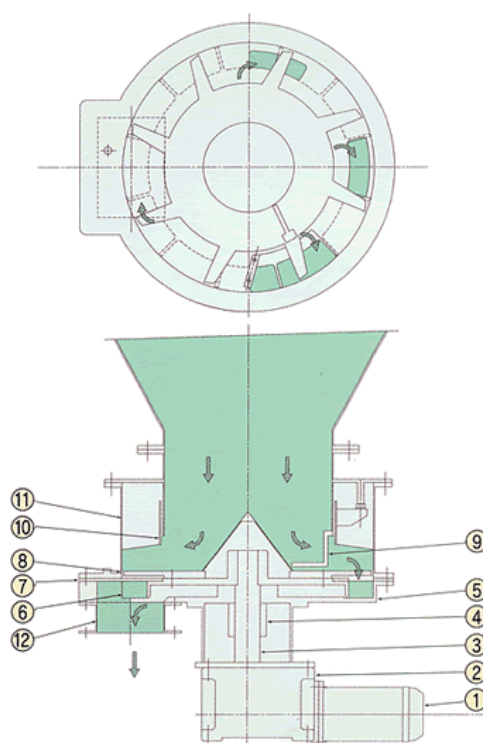
2.2.4 Komůrkový podavač pro dávkování roztaveného popílku

Podavač, vyobrazený na Obr. 2.7, umožňuje podávání roztaveného popílku. Tenký obepínající typ podávacího stolu umožňuje nepřetržitě dávkovat bez přilepování a

zaplavování materiálem. Prášek prostřednictvím svého tlaku zmírňuje postup, čímž umožní stále dodávat bez zhutňování.

Ve formě prášku nebo zrna v zásobníku vstupuje materiál do horní části válce (11). Děje se tak přes hubici (10) ze středu pomocí vodící lišty (9). Prášek je rozmíchán míchacími lopatkami (7). Je postupně zasílán do podávacího stolu (6) přes tři otvory vyrovnávací desky (7). Prášek vyplní dané množství v komůrce a je dopraven na spodní části podavače (5) do skluzu (12). Množství dopravovaného materiálu lze ovládat skrze měnič otáček, což se nejčastěji dělá přes frekvenční měnič motoru.

Podavač se používá na dávkování taveného popílku, spáleného popílku smíchaného se škvárou, těžké olejové popely, vlhké prášky a lepidlo prášky.



Obr. 2.7 Komůrkový podavač roztaveného popílku [15]

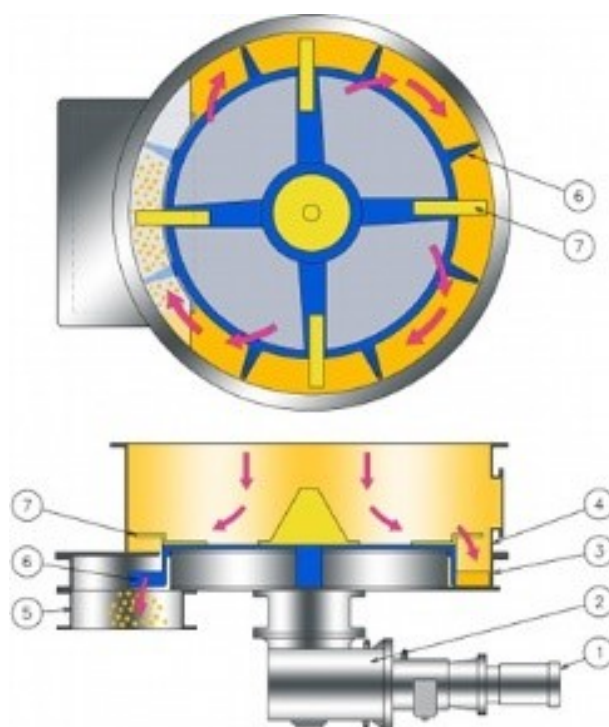
2.2.5 Komůrkový podavač pro dávkování biomasy

Tento typ podavače umožňuje dávkování materiálu, který je lepkavý a má tendenci se zhutňovat. Může se jednat o biomasu, plastový odpad, gumový odpad, dřevní štěpku a laminátový odpad.

Podavač biomasy je volumetrický (objemový) podavač se schopností kontinuálně a s objemovou přesností dávkovat materiál, který je obtížně vynášen, k dalšímu procesu zpracování.

Komůrkový podavač pro dávkování biomasy řeší problémy spojené s lepením a zhutňováním materiálu, jako například nestabilní tok materiálu, přemostění ve skladovací výsypce a lepení uvnitř podavače. Podavač má detekci velikosti krouticího momentu, který automaticky směruje podavač, aby se točil jednom či druhém směru, čímž zabraňuje ucpání a zhutnění a umožňuje stabilní provoz. Přemostění uvnitř násypky se podavač zbaví zvětšením svého vstupu. Vzhledem k tomu, že podavač je navržen na určitý odpor materiálu při dávkování, je schopen dodávat i menší objemovou hmotnost.

Na Obr. 2.8 je komůrkový podavač. Jeho hlavními částmi jsou motor (1), převodovka (2), spodní část skříně (3), vrchní část skříně (4), výpusť (5), podávací stůl (6) a míchací zařízení (7).



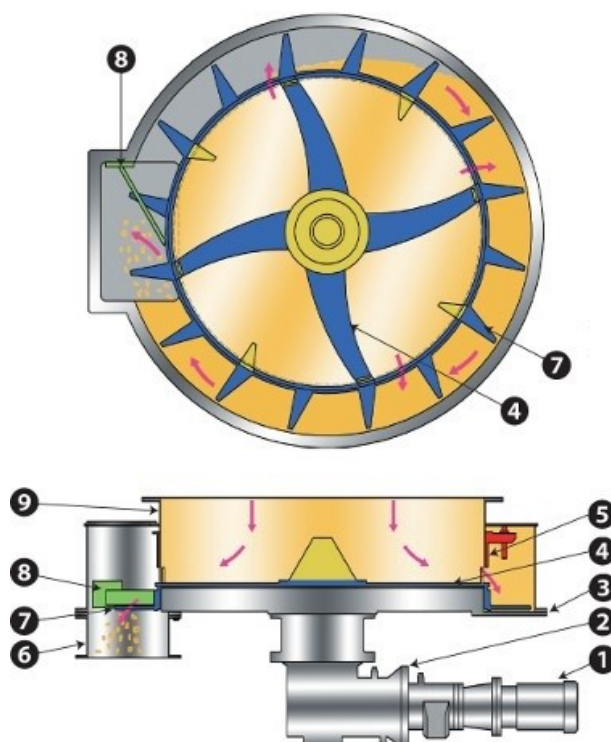
Obr. 2.8 Komůrkový podavač pro dávkování biomasy [15]

2.2.6 Komůrkový podavač pro moučné a vlhké materiály

Komůrkový podavač pro moučné a vlhké materiály je určen pro dávkování prášků, které se obtížně dávkuje a vynášejí. Zvětšením vstupního průměru se zamezí přemostění materiálu v zásobníku. Tento typ se dělá v různých provedeních a je možnost jej použít i pro suché prášky.

Prvním typem je podavač pro vlhké prášky. Jeho schéma je vyobrazeno na Obr. 2.9. Má speciálně konstruovaný podávací stůl (7). Kombinací tohoto stolu se škrabkou (8) nedochází k protáčení materiálu a to zajišťuje stálé dávkování velmi přilnavého prášku.

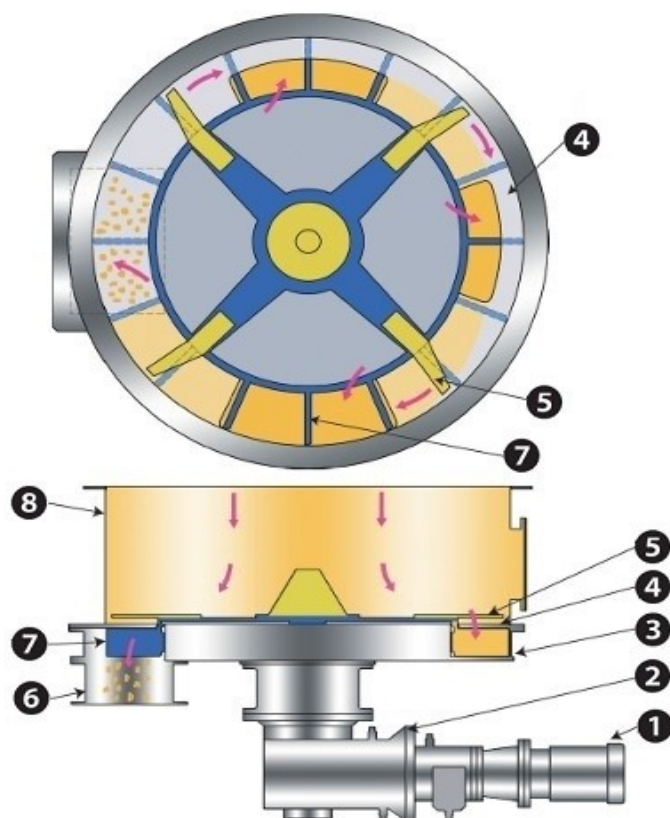
Slepený prášek je rozdělován míchacím zařízením (4). Nezhutněný materiál je v násypné hubici (5) plněn do podávacího stolu (7). Ten je rotačním pohybem stolu dopraven k výsypanému žlabu (6), kde je škrabkou nuceně do tohoto žlabu dopraven. Nastavení rychlosti podávání se provádí se závislostí na otáčkách a nastavitelném průměru výtokové hubice (5).



Obr. 2.9 Komůrkový podavač pro vlhké a moučné materiály [15]

Druhým typem je komůrkový podavač pro obtížně dávkovatelné vlhké a moučné materiály. Podavač je schopný dávkovat od suchého prášku přes vláknitý až po houbovitý prášek. Je to docíleno za pomoci speciální stírací desky, která je charakteristická k danému druhu prášku, a pomocí kruhového podávacího stolu (7). Schéma podavače je na Obr. 2.10.

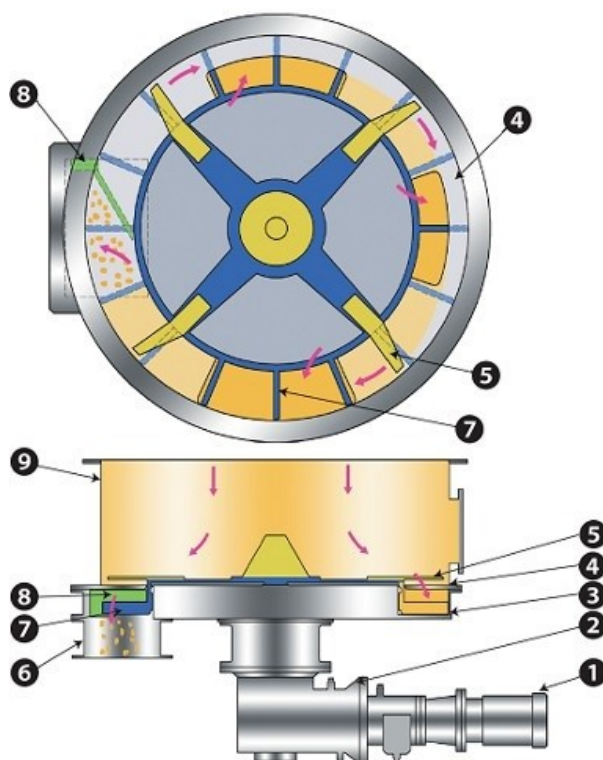
Slepený prášek je rozdělován míchacím zařízením (5). Nezhutněný materiál je přes stírací desku (4) plněn do podávacího stolu (7). Poté je materiál s pevným objemem rotačním pohybem stolu dopraven k výsypanému žlabu (6), kam je podáván kontinuálně. Nastavení rychlosti podávání se provádí pomocí měniče otáček.



Obr. 2.10 Komůrkový podavač pro obtížně dávkovatelné vlhké a moučné materiály [15]

Třetím typem je podavač komůrkový pro materiály s částicemi nerovnoměrných rozměrů a umožňuje jejich vynášení ze zásobníku a dávkování. Systém zabráňující zhutnění materiálu umožňuje jeho kontinuální vynášení. Tento systém má střídavý chod, který kontroluje krouticí moment a jeho zatížení.

Slepený prášek je rozdělován míchacím zařízením (5), které je ukázáno na Obr. 2.11. Nezhutněný materiál je přes stírací desku (4) plněn do podávacího stolu (7). Poté je materiál s pevným objemem v komůrkách rotačním pohybem stolu dopraven k výsypnému žlabu (6). Tam je podáván kontinuálně škrabkou. Nastavení rychlosti podávání se provádí pomocí měniče otáček.



Obr. 2.11 Komůrkový podavač pro část moučné materiálu s částicemi nerovnoměrných rozměrů [15]

2.3 Turniketové podavače

Primární funkcí je regulace průtoku z jedné komory do druhé při zachování dobrého stavu vzduchotěsnosti komory. Podávaný materiál je zejména suchý prášek nebo v granulované formě, ale mohou to být i krystalky nebo pelety. Rotor se otáčí v horizontální poloze (Obr. 2.3-a)). Elektromotor s frekvenčním měničem zajišťuje regulaci rychlosti podávaného materiálu. Použití těchto podavačů je velmi široké a jejich provedení se liší vzhledem k danému použití. Využívají se v cukrovarnickém průmyslu, chemické průmyslu, elektrárnách, stavebnictví a potravinářském průmyslu. Používá se k přepravě různých materiálů, např.: cementu, rudy, cukru, minerálů, zrní, plastů, prášků, popílku, mouky, sádry, vápna, kávy, cereálií, a farmaceutik.

Princip turniketového podavače je jednoduchý. Jedná se o rotor s lopatkovým kolem, které je poháněno motorem. Rotační podavač je podobný otočným dveřím: pádla nebo lopatky vytvoří trojúhelníkovou kapsu mezi lopatkami a kruhovým pouzdrem, ve kterém se otáčí, a tvoří vzduchotěsné těsnění s pouzdrem. Motor pomalu pohybuje s lopatkami, aby umožnil pevným látkám plnit komůrky z násypky. Rotační hřídel má lopatky, které vyplňují s produktem jednu stranu podavače a druhá strana má prázdné kapsy, které budou

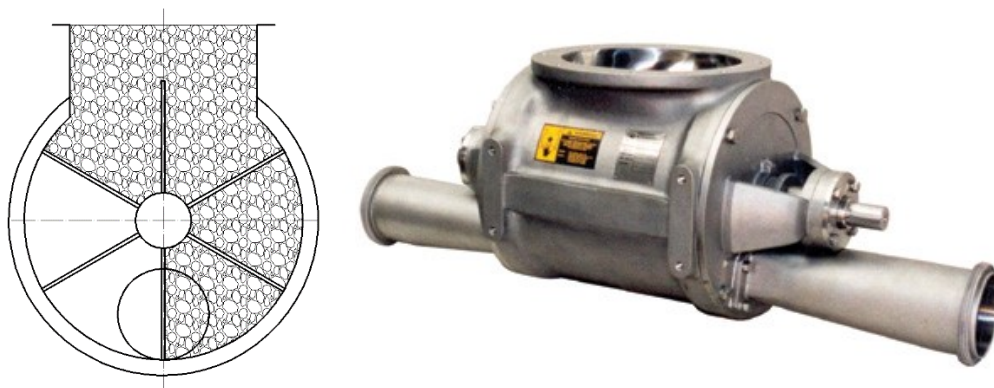
po pootočení materiálem naplněny. Dopravovaný materiál padá horní vstupní přírubou mezi lopatky otáčejícího se rotoru a je jím dopravován do spodní části skříně a odtud dále do navazujícího dopravního zařízení. Horní část skříně je tvořena dle tvaru násypky tak, aby materiál padal převážně doprostřed rotoru. Těsnění ve víkách skříně zajišťují vzduchotěsnost podavače a jsou mazány tukem, který se přivádí maznicemi do mazacích kroužků.

Turniketové podavače jsou k dispozici s čtvercovými nebo kruhovými vstupními a výstupními přírubami. Pouzdro lze vyrobit z plechu, uhlíkové oceli nebo litiny. Turnikety jsou často k dispozici ve standardních a těžkých nákladních modelech, s tím rozdílem, že přední deska a ložiska mají jinou konfiguraci. Násypný a výsypný otvor může být vertikální nebo horizontální. K dispozici jsou různé ochrany jako pochromování nebo keramické pokovení na vnitřní straně skříně. Mazáním a odvzdušňováním se zabráňuje vniknutí nečistot do těsnění.

Turniketové podavače mají dvě základní provedení: drop-through a convey-through. Další typy turniketových podavačů jsou modifikací těchto dvou typů.

2.3.1 Convey-through

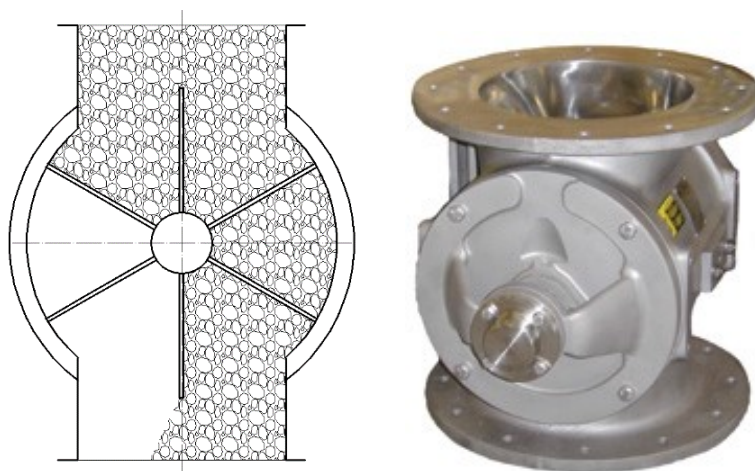
Rotační ventil „convey-through“ (přímá doprava, dále jen CV) se používá především pro soudržnější a lepkavé prášky, např.: kakaový prášek, mouka, sušené mléko. Prášek nemusí plnit správně rotační ventily, protože se stlačuje a lepí se na části rotoru a ventilů. Materiál vstupuje na horní části podavače a vypouští se vodorovně pod úhlem 90° do pneumatické dopravní linky (např. pneumatické potrubí). Obr. 2.12 znázorňuje takový typ dopravy.



Obr. 2.12 Turniketový podavač CV (convey through) [22]

2.3.2 Drop-through

„Drop-through“ (přímý pád nebo pád skrz, dále jen DT) nebo také „blow-thru“ (přímé foukání) rotační vzduchotěsný podavač je ideální pro pneumatické dopravní aplikace v potravinářském, chemickém, a farmaceutickém průmyslu. Je vyobrazen na Obr. 2.13. Podavače typu DT mají vzduchotěsné komory s nízkým profilem s velkou kapacitou. Materiál vstupuje v horní části a ve svislém směru je odváděn do spodní výpusti. Dále je vybaven otevřeným koncem rotoru, kde ložisko je mimo skříň a těsnění je vyměnitelné.



Obr. 2.1, Turniketový podavač DT (drop through) [22]

2.3.3 Easy-clean

Rotační podavače „easy-clean“ (snadno čistitelné) řady mohou být rychle a jednoduše demontovány a vyčištěny. Rychle se dezinfikují a kontrolují. Údržba je v minimálním čase bez použití náradí nebo vyjmutí z provozu, čímž se snižuje prostoje a zvyšuje výrobní systém. Zpětná montáž bez použití náradí se provádí během několika minut. Vnitřní vřle jsou pokaždé obnoveny automaticky. Obr. 2.14 odhaluje, že se používají chromované leštěné tyče s lineárními recirkulačními kuličkovými ložisky, takže rotor jednoduše klouže ven z těla, přičemž je pevně držen čelního nepoháněného krytu. „Clean-in-place“ (uklizeno na místě) rotační podavač je pro speciální účel, kde kontaminace je velkým problémem a dlouhé odstávky pro vyčištění jsou cenově nedostupné. Použití je vhodné pro mlékárny, farmaceutický průmysl, potravinářský průmysl, pečení, chemický průmysl, plasty, barvy a práškové lakování. Je ideální pro dávkové míchací systémy, jako jsou ty, které chrání různé barevné pryskyřice, protože vyžadují pravidelné čištění mezi cykly. Mohou být v CV i DT provedení.



Obr. 2.14 Turniketový podavač easy-clean [22]

2.3.4 Podavač s filtrovacími lopatkami (filter valve)

Podavač s filtrovacími lopatkami na Obr. 2.15 je řešení s nízkými náklady určena pro lehké aplikace lapače prachu. Řeší se jimi nízkotlaká pneumatická doprava.



Obr. 2.15 Turniketový podavač s filtrovacími lopatkami [22]

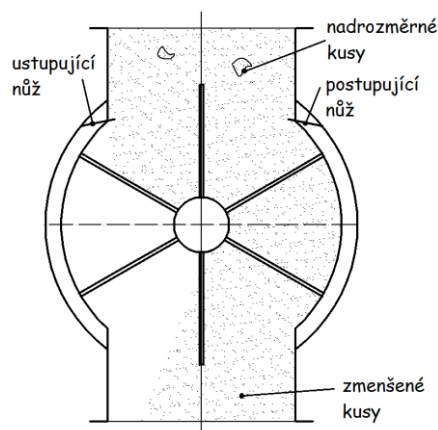
2.3.5 Rotační podavač s nožem

Rotační podavač s nožem se používá pro vypouštění sekundárního paliva, jako například plastů nebo dřeva. Obr. 2.16 ukazuje schéma podavače. Nůž řeže nadměrný materiál a brání rotoru, aby se zablokoval.

V některých případech vyžadujících rozkouskování materiálu je potřeba vysoce specializovaná a odolná varianta základního rotačního ventilu. Odolný a hydraulicky poháněný vysokým točivým momentem při provozu s nízkou rychlostí. Základní rotační ventil je upraven pro použití k rozkouskování přidáním mírně šikmých tvrzených nožů,

umístěných nad rotující lopatky. Oddělovače mohou být použity jako omezovače maximální velikosti materiálu, která projde přes jednotku.

Pokud by mělo dojít k uvíznutí, speciální řídicí jednotka proti zastavení motoru dočasně zvýší moment a postupujícím nožem odstříhne uvíznuté části. V případě neúspěchu, se automaticky chod podavače obrátí ke zmírnění napětí a pokusí se stříhem v opačném směru proti ustupujícímu noži rozdělit uvíznutou část. Tento proces se opakuje několikrát před zahájení alarmu, pokud uvíznutí přetrvává.



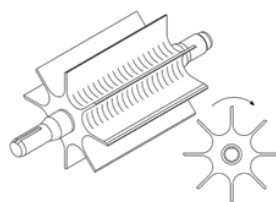
Obr. 2.16 Turniketový podavač s nožem

2.3.6 Další turniketové podavače

Dalšími podavači jsou například vysokotlaké podavače, které řeší velké rozdíly v tlacích, mini turniketové podavače, které dávkuje malé množství dopravovaného materiálu, nebo turniketové podavače se systémem detekce rotoru, které mají speciální automatizované vybavení pro detekci kontaktu mezi rotorem a skříní pro větší bezpečnost.

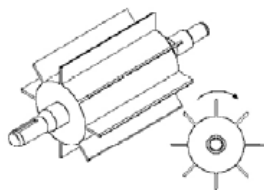
2.3.7 Typy rotorů turniketových podavačů

Sanitární rotor je vroubkovaný rotor se zaoblenými rohy zabráňující hromadění produktu.



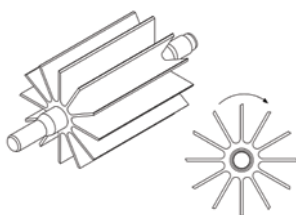
Obr. 2.17 Sanitární rotor [22]

Rotor s redukovanou kapacitou je rotor pro specializované dávkování.



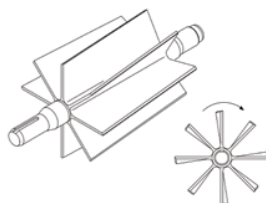
Obr. 2.18 Rotor s redukovanou kapacitou [22]

Více lopatkový rotor poskytuje přesné dávkování a snižuje únik vzduchu.



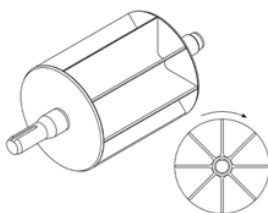
Obr. 2.19 Více lopatkový rotor [22]

Šroubovitý rotor má střížné působení proti tělům lopatek.



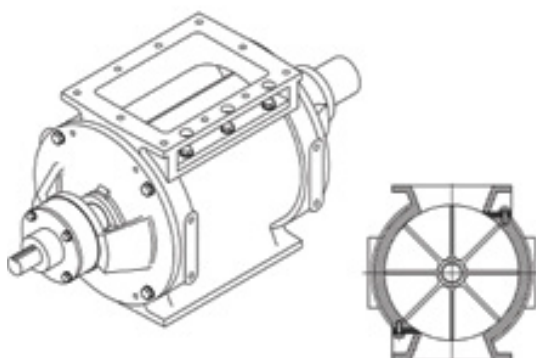
Obr. 2.20 Šroubovitý rotor [22]

Rotor s diskem na konci chrání čelní příruby a těsnění proti abrasivnímu působení materiálu.



Obr. 2.21 Rotor s diskem [22]

Rotor s nožem poskytuje střížnou sílu proti rotorovým lopatkám pro vláknité materiály a zabránění jejich vzpříčení.



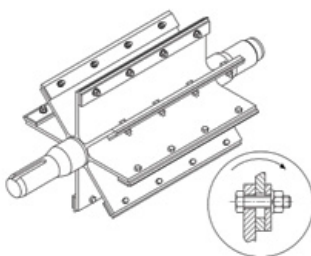
Obr. 2.22 Rotor s nožem [22]

Plastový rotor zajišťuje nelepivý povrch pro sanitární použití.



Obr. 2.23 Rotor plastový [22]

Rotor s vyměnitelnými hroty má na sobě mechanicky připevněny destičky z kalených materiálů, které zabraňují abrasivnímu působení.



Obr. 2.24 Rotor s vyměnitelnými hroty [22]

Dále bývají rotory povlakované, pancéřované, pokovované, čtvercové, zkosené, stelitové a další.

2.4 Volba podavače

Volím komůrkový podavač (turniketový vertikální) z důvodu prostorového uspořádání podavače a jeho přednosti v menších rozměrech než ostatní varianty.

Celé zařízení by mělo být navrženo v provedení nevýbušného zařízení a to pro práci v zóně 22 (3D). To znamená, že návrh a konstrukce zařízení musí být takové, aby nemohlo dojít k iniciaci prachovzduchové směsi iniciačními zdroji, jejichž vznik je pravděpodobný za normálních provozních podmínek. Prach s ohledem na velikost jeho částic nesmí uvnitř zařízení vytvářet výbušnou prachovzduchovou směs ani se nesmí uvnitř zařízení nebezpečně hromadit.

K zabránění vznícení rozvířeného prachu, musí být udržována povrchová teplota částí zařízení dostatečně nízko pod teplotou vznícení předpokládané prachovzduchové směsi.

K dodržení tohoto provedení je potřeba zkoušek a měření v některém z diagnostických ústavů. Ten je posléze oprávněn vydat certifikát zaručující oprávněnost zařízení pracovat v prostředí, pro které je navrženo.



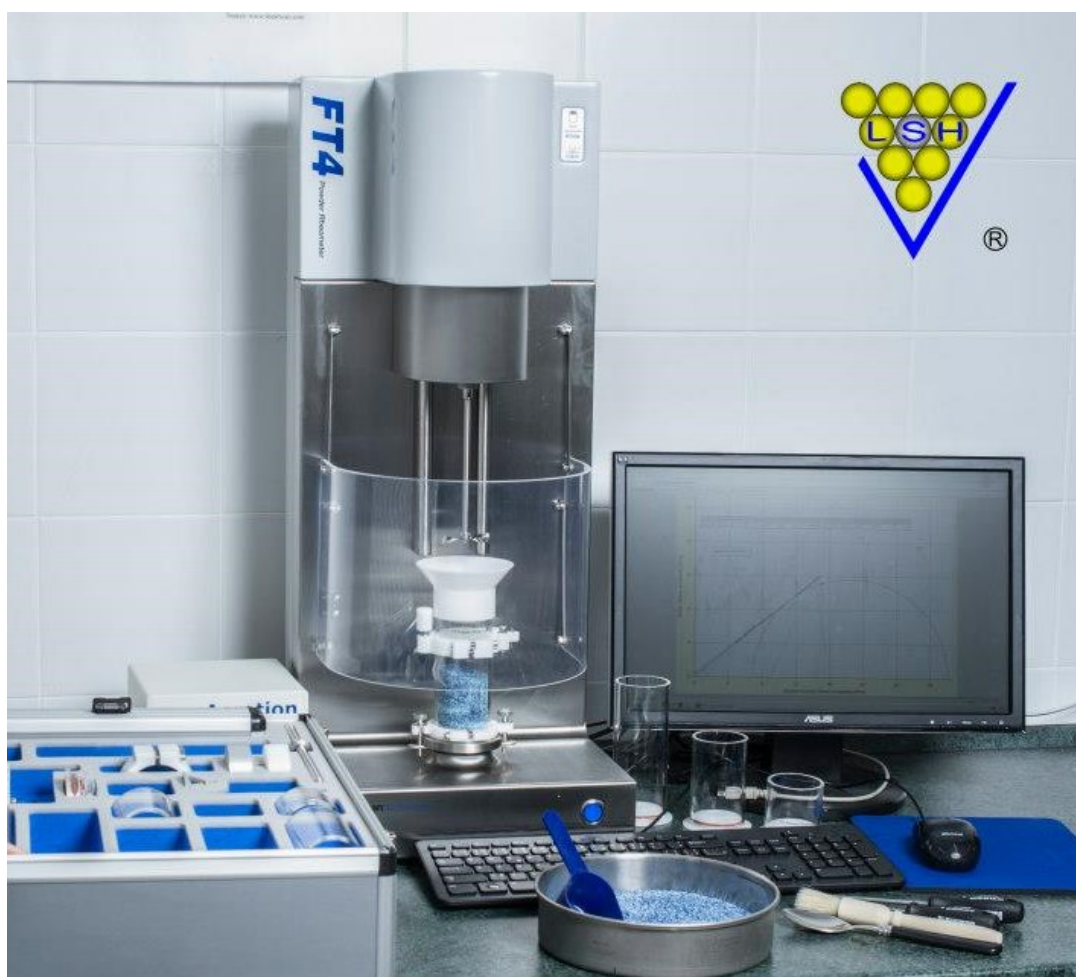
Obr. 2.25 Komůrkové podavače [34]

3 Měření mechanicko-fyzikálních vlastností práškového uhlí

Ke správnému návrhu a volbě podavače je jedním z nejdůležitějších parametrů znalost mechanicko-fyzikálních vlastností dopravovaného materiálu. Vlastnosti odebraného vzorku práškového uhlí jsem proměřil za přispění Ing. Jakuba Hlosty v Laboratoři sypkých hmot VŠB-TU Ostrava.

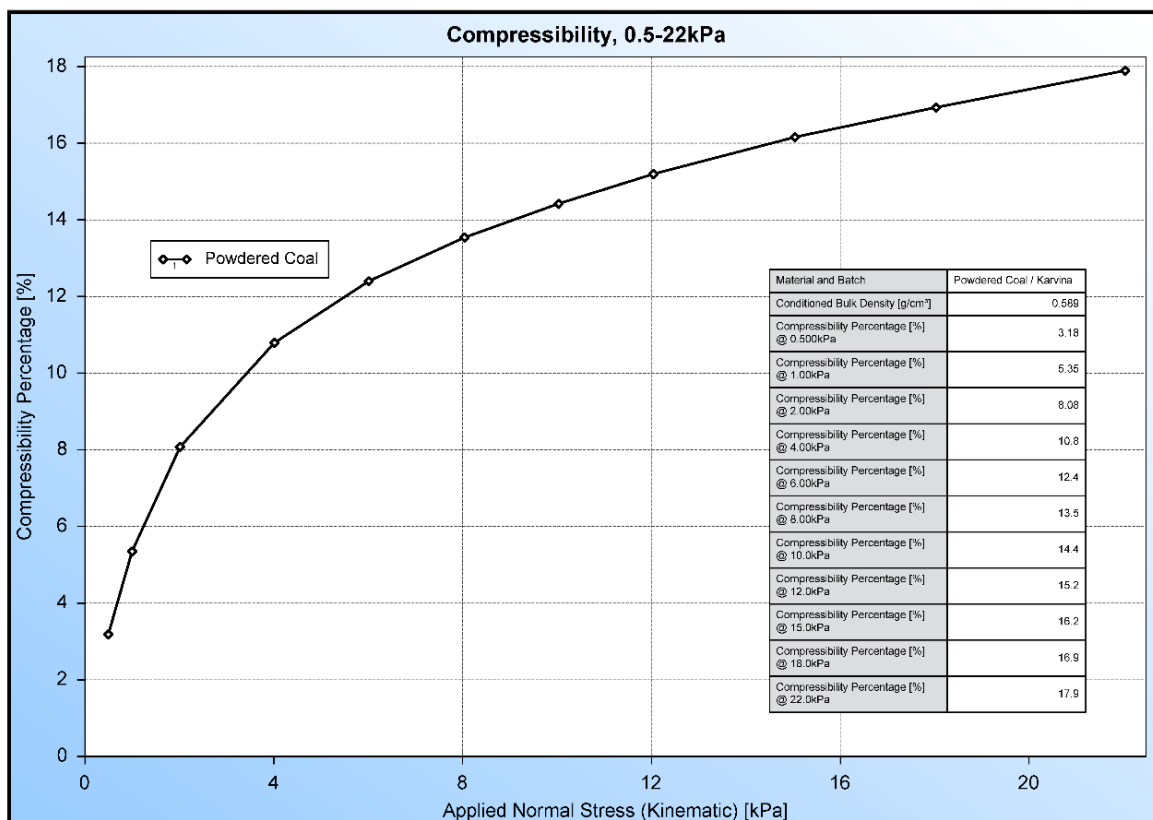
3.1 Měření kompresibility

Měření kompresibility daného vzorku bylo provedeno na práškovém reometru FT4 firmy Freeman Technology (Obr. 3.1).



Obr. 3.1 Práškový reometr FT4 [11]

Kompresibilita je měřítkem toho, jak se změní objem nebo hustota v závislosti na normálovém zatížení. U prášků je tato vlastnost ovlivněna mnoha faktory, jako je distribuce a tvar částic, koheze, tuhost částic, atd. Kompresibilita není měřením tekutosti materiálu.



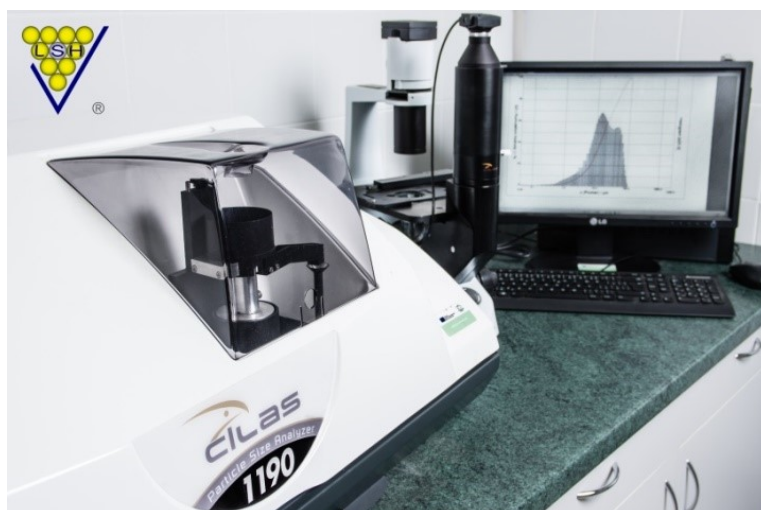
Obr. 3.2 Závislost normálového ztížení na procentuálním vyjádření kompresibility [11]

Z naměřených dat vyplývá, že se jedná o materiál s citlivostí ke kompresi, s vysokým obsahem vzduchu v sypané hmotě a velice jemný prášek.

Kompresibilita je kvantifikována jako procentuálního vyjádření stlačitelnosti pro dané normálové zatížení. Je zobrazena v tabulce na Obr. 3.2 od zatížení 0,5 [kPa] do 22 [kPa] a pohybuje se od 3,18 [%] do 17,9 [%] dle velikosti normálového zatížení.

3.2 Měření granulometrie

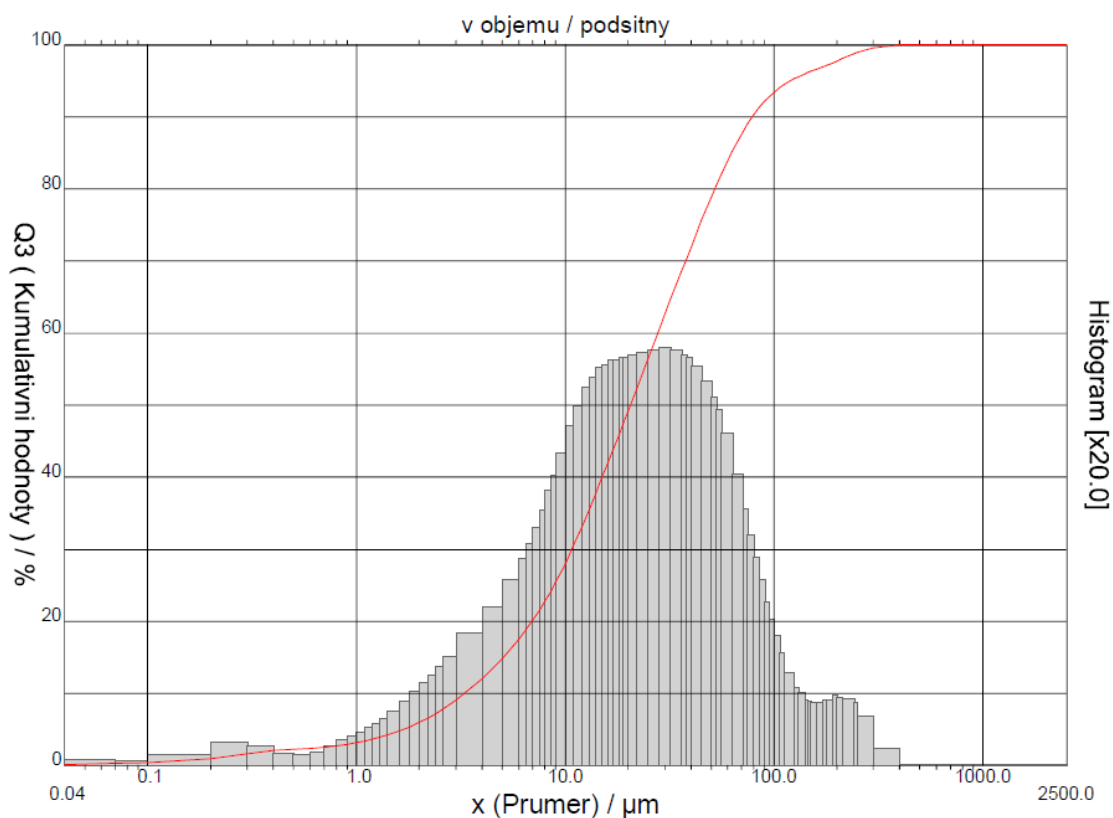
Granulometrická analýza práškového uhlí byla provedena na analyzátoru velikosti částic CILAS 1190 (Obr. 3.3). Měření se provádí na vzorku suchou, nebo mokrou cestou. Světlo z laserové diody prochází kyvetou obsahující vzorek rozptýlený v odpovídající kapalině, nebo vzduchu a následně dochází k rozptylu světelného paprsku. Měření granulometrie je možné v rozsahu 0,04 [μm] až 2000 [μm].



Obr. 3.3 Analyzátor velikosti částic CILAS 1190 [11]

Pro měření mokrou cestou bylo potřeba stanovit vhodné unášecí médium. Pro dodaný vzorek bylo zvoleno jako unášecí médium ethanol. Výstupem měření jsou kumulativní křivky velikosti částic, tabulky velikostí částic a také porovnání křivek vzorků.

Výsledky velikostí částic se pohybovala od 0,04 do 400 [μm]. Průměrná velikost částic byla 40 [μm]. Grafické zpracování poskytuje Obr. 3.4.



Obr. 3.4 Kumulativní křivka v grafu velikosti částic [11]

3.3 Měření vnitřního a vnějšího tření

Smykové vlastnosti nám odhalují, jak snadno se dá do pohybu konsolidovaný materiál. Aby došlo k toku sypké hmoty, je zapotřebí překonat mez kluzu materiálu. Fyzikální vlastnosti materiálu, jako jsou velikost, tvar a povrch částic, výrazně ovlivňují mez kluzu, stejně jako obsah vlhkosti nebo různých aditiv.

K měření vnitřního i vnějšího tření bylo použito stroje FT4, práškového retrometru firmy Freeman Technology. Rotační smykový stroj se skládá z nádoby obsahující vzorek prášku a smykové hlavy vyobrazených na Obr. 3.5. Smyková hlava se pohybuje směrem dolů, dokud není zajištěn dostatečný a stabilní tlak mezi hlavou a práškem. Poté se začne pomalu otáčet a vyvolávat v sypké hmotě smykové napětí. V materiálu se zvyšuje smykové napětí až do ustřížení materiálu ve směru smykové roviny. Maximální hodnota přeneseného smykového napětí je strojem zapsána a po vykonání testu vyhodnocena.

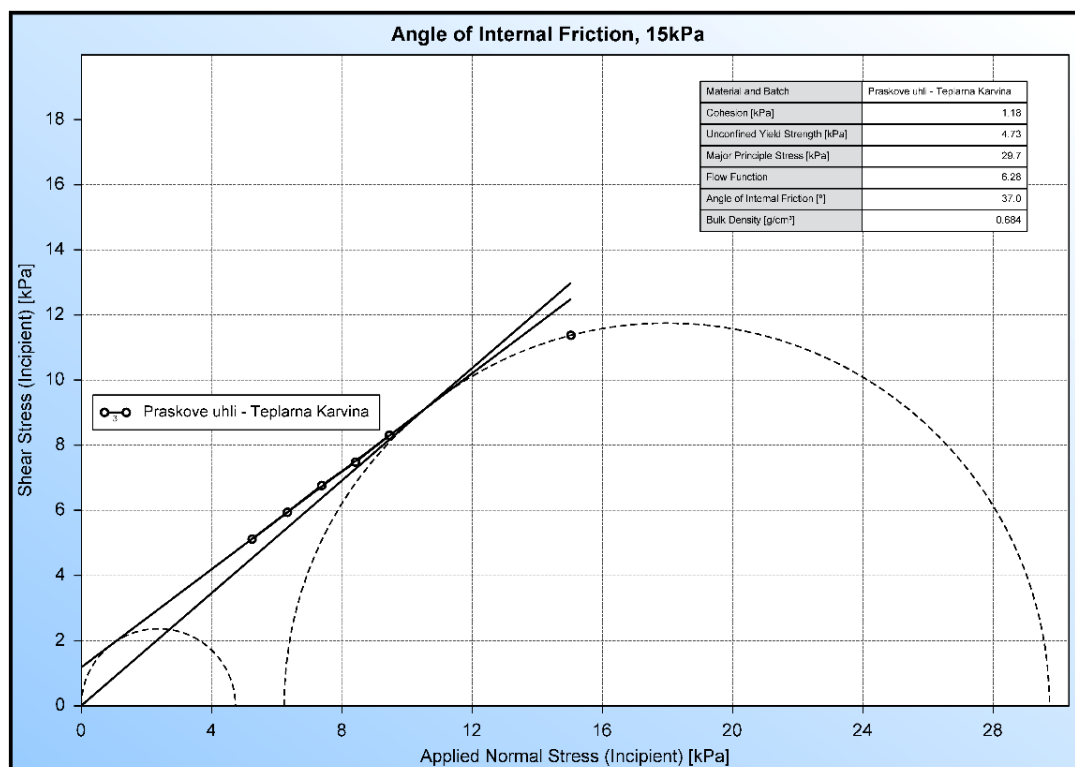
Rozdíl v měření vnitřního a vnějšího tření je pouze v druhu rotační smykové hlavy. Pro vnitřní tření má smyková hlava lopatky, pro vnější tření je smyková hlava plochá a tvořená materiálem, po kterém se smýká sypká hmota.



Obr. 3.5 Nádobka se sypkým materiálem a rotační hlava [11]

Na Obr. 3.6 je znázorněna závislost střižného napětí k normálovému napětí v materiálu. Úhel vnitřního tření práškového uhlí je 37° . Součinitel vnitřního tření materiálu $f_i = 0,8$ [-]. Úhel vnějšího tření se mění dle materiálu, ke kterému se vztahuje. Součinitel vnějšího tření mezi práškovým uhlím a nerezovou ocelí je $f_{wn} = 0,4$ [-], pro práškové uhlí a normálním ocelovým plechem $f_{wpl} = 0,5$ [-] a pro práškové uhlí a plastovou plochu $f_{wp} = 0,3$ [-].

Počáteční smykové napětí neboli soudržnost (cohesion) má hodnotu $\tau_0 = 1180$ [Pa].



Obr. 3.6 Smykové napětí závislé na normálovém napětí v materiálu [11]

3.4 Měření synné hmotnosti

Práškový retrometr FT4 měří synnou hmotnost materiálu při měření jeho vnitřního tření. Výsledek je zaznamenán na Obr. 3.6. Synná hmotnost práškového uhlí ρ_s je uvedena v tabulce Tab. 3.1.

3.5 Tabulka naměřených hodnot

Název	Hodnota
průměrná velikost částic d_c	40 [μm]
úhel vnitřního tření ϕ_i	37 [°]
Součinitel vnitřního tření f_i	0,8 [-]
součinitel vnějšího tření (plech - prášek) f_{wpl}	0,5 [-]
součinitel vnějšího tření (nerez - prášek) f_{wn}	0,4 [-]
součinitel vnějšího tření (plast - prášek) f_{wp}	0,3 [-]
synná hmotnost práškového uhlí ρ_s	684 [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
počáteční smykové napětí	1180 [Pa]
kompresibilita	viz Obr. 3.2

Tab. 3.1 Naměřené mechanicko-fyzikální vlastnosti dopravovaného materiálu

4 Technologické výpočty

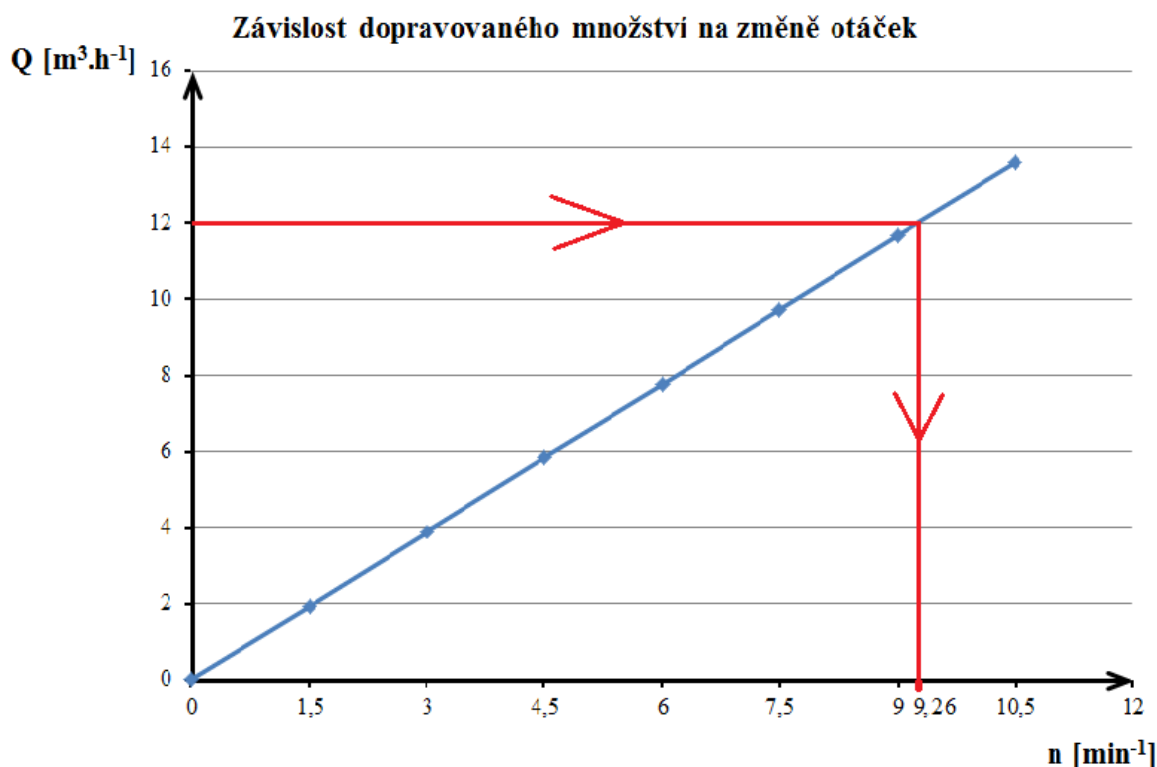
4.1 Volba parametrů a výpočet otáček podavače

Zvolil jsem si objem mezi dvěma lopatkami $V_1 = 0,004 \text{ [m}^3\text{]} = 4 \text{ [l]}$, součinitel plnění tohoto prostoru bude $k_\phi = 0,9$ a počet lopatek $i = 6 \text{ [-]}$. Dopravované množství práškového uhlí je $Q_V = 12 \text{ [m}^3 \cdot \text{h}^{-1}\text{]}$.

Základní úloha mi pomůže sestrojit graf, který mi určí velikost otáček pro potřebné dopravované množství.

$$Q_V = 3600 \cdot V_1 \cdot k_\phi \cdot i \cdot n \text{ [m}^3 \cdot \text{h}^{-1}\text{]} \quad [3] \quad (4.1)$$

Graf (Obr. 4.1) je sestrojen pro otáčky v rozmezí od $0 \text{ [min}^{-1}\text{]}$ do $10,5 \text{ [min}^{-1}\text{]}$.



Obr. 4.1 Graf závislosti dopravovaného množství na změně otáček komůrek

Z grafu vyplývá to, co můžeme zjistit po upravení vzorce (4.1). Otáčky optimální pro daný dopravní výkon jsou:

$$n_{opt} = \frac{Q_V}{3600 \cdot V_1 \cdot k_\phi \cdot i} \quad (4.2)$$

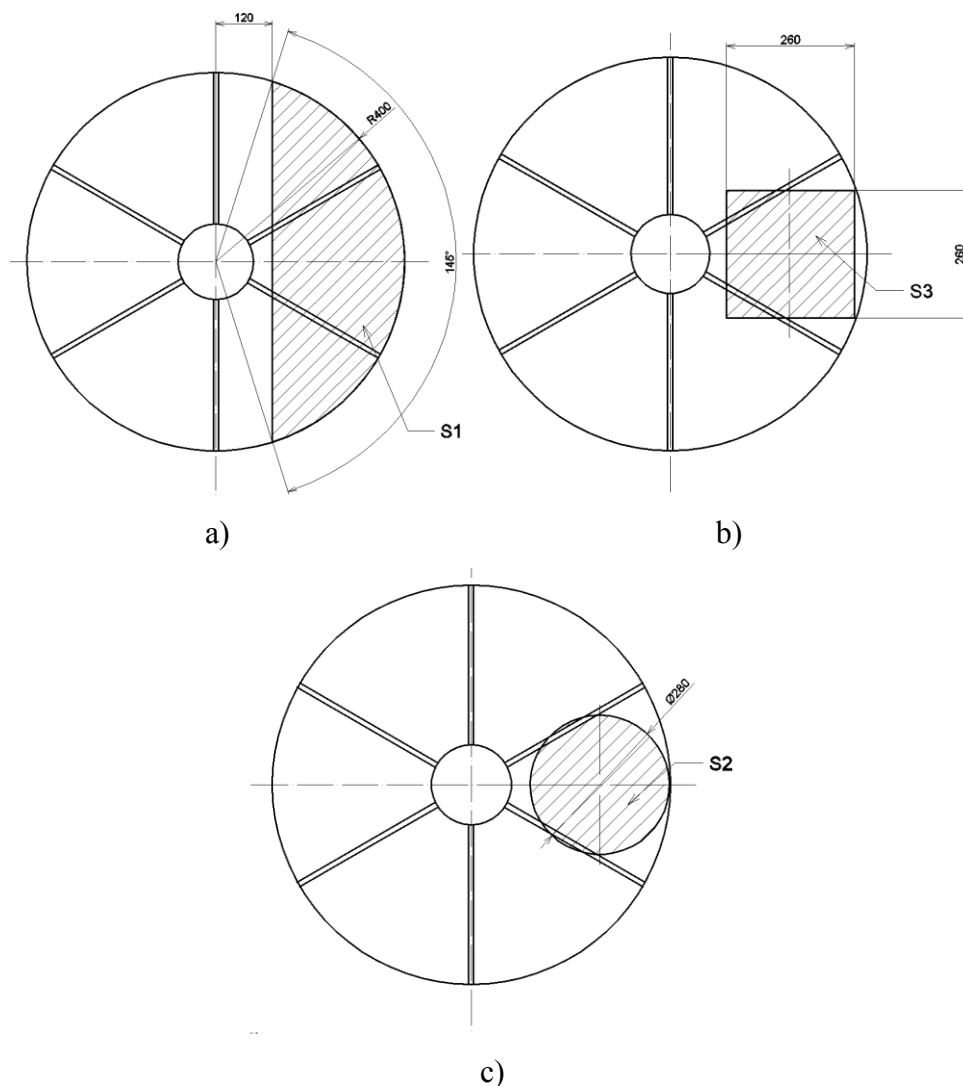
$$n_{opt} = \frac{12}{3600 \cdot 0,004 \cdot 0,9 \cdot 6}$$

$$n_{opt} = 0,15[s^{-1}] = 9,26[min^{-1}]$$

Zvýšením otáček se dopravované množství zvětšuje, snížením otáček se dopravované množství snižuje.

4.2 Výpustný otvor zásobníku

Pro volbu správného tvaru výpustného otvoru zásobníku je potřeba spočítat jejich základní parametry. Volbu učiním mezi kruhovým, čtvercovým a půlkruhovým tvarem otvoru. Jejich parametry jsou na Obr. 4.2. Poloměr výpustného otvoru $r = 0,4$ [m], úhel $\alpha = 145$ [°], strana čtverce výpustného otvoru $b = 0,26$ [m] a průměr kruhu výpustného otvoru $d = 0,28$ [m].



Obr. 4.2 Rozměry a tvary ploch výpustných otvorů – a) půlkruh; b) čtverec; c) kruh

Vypočítané hodnoty budou obsah plochy výpustného otvoru, rychlost vypadávání materiálu (dle empirického vztahu [6]) a objemový průtok materiálu.

$$S_{S1} = \frac{r^2}{2} \left(\frac{\pi \cdot \alpha}{180} - \sin \alpha \right)$$

$$S_{S1} = \frac{0,4^2}{2} \left[\frac{145^\circ}{180^\circ} \pi - \sin 145^\circ \right] \quad [30] \quad (4.3)$$

$$S_{S1} = 0,157 [\text{m}^2]$$

$$S_{S2} = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4}$$

$$S_{S2} = \frac{\pi \cdot 0,28^2}{4} \quad (4.4)$$

$$S_{S2} = 0,062 [\text{m}^2]$$

$$S_{S3} = b^2$$

$$S_{S3} = 0,26^2 \quad (4.5)$$

$$S_{S3} = 0,068 [\text{m}^2]$$

$$R_{S1} = \frac{S_1}{o_1} = \frac{\frac{r^2}{2} \left(\frac{\pi \cdot \alpha}{180^\circ} - \sin \alpha \right)}{2 \cdot r \cdot \sin \left(\frac{\alpha}{2} \right) + \frac{\pi \cdot r \cdot \alpha}{180^\circ}}$$

$$R_{S1} = \frac{\frac{0,4^2}{2} \left[\frac{145^\circ}{180^\circ} \pi - \sin 145^\circ \right]}{2 \cdot 0,4 \cdot \sin \left(\frac{145^\circ}{2} \right) + \frac{\pi \cdot 0,4 \cdot 145^\circ}{180^\circ}} \quad [5] \quad (4.6)$$

$$R_{S1} = 0,09 [\text{m}]$$

$$R_{S2} = \frac{S_2}{o_2} = \frac{\frac{\pi \cdot d_1^2}{4}}{\pi \cdot d_1}$$

$$R_{S2} = \frac{\frac{\pi \cdot 0,28^2}{4}}{\pi \cdot 0,28} \quad [5] \quad (4.7)$$

$$R_{S2} = 0,07 [\text{m}]$$

$$R_{S3} = \frac{S_3}{o_3} = \frac{b^2}{4 \cdot b} \quad [5] \quad (4.8)$$

$$R_{S3} = \frac{0,26^2}{4,0,26}$$

$$R_{S3} = 0,065[m]$$

$$v_{S1} = \sqrt{\frac{g \cdot R_{S1}}{f_i}}$$

[6]

$$v_{S1} = \sqrt{\frac{9,806 \cdot 0,09}{0,8}}$$

(4.9)

$$v_{S1} = 1,05[m \cdot s^{-1}]$$

Analogicky jsou vypočteny rychlosti vypadávání materiálu z daného otvoru $v_{S2} = 0,93 m \cdot s^{-1}$ a $v_{S3} = 0,89 m \cdot s^{-1}$.

$$Q_{V1} = S_1 \cdot v_{S1}$$

$$Q_{V1} = 3600 \cdot 0,157 \cdot 1,05$$

(4.10)

$$Q_{V1} = 594[m^3 \cdot h^{-1}]$$

Opět analogicky objemový průtok materiálu $Q_{V2} = 208 [m^3 \cdot h^{-1}]$ a $Q_{V3} = 218 [m^3 \cdot h^{-1}]$.

Volím průřez půlkruhový kvůli největšímu průtoku materiálu.

4.3 Kontrola objemového toku

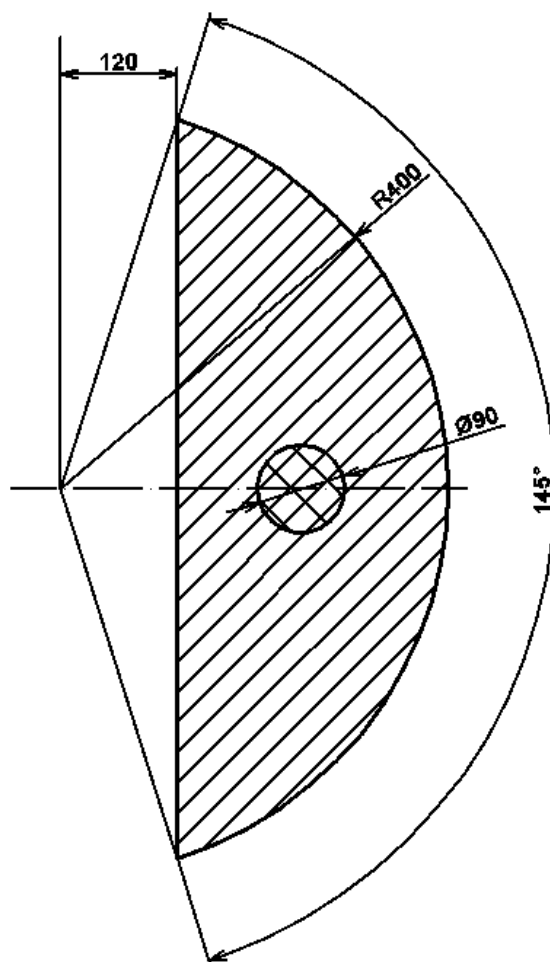
Rychlost výtoku materiálu z výpustného otvoru $v_{S1} = 1,05 [m \cdot s^{-1}]$, objemový tok přitékajícího materiálu $Q_{V1} = 594 [m^3 \cdot h^{-1}]$. Kontrola plnění:

$$Q_{V1} \geq Q_V$$

$$594[m^3 \cdot h^{-1}] > 12[m^3 \cdot h^{-1}]$$

(4.11)

Průřez vyhovuje, pracuje-li 100% plochy výpustného otvoru. Je potřeba zkontrolovat minimální pracovní plochu výpustného otvoru, která musí být funkční. Rozměry otvorů jsou zobrazeny na Obr. 4.3. Minimální dopravní množství přitékajícího materiálu Q_{V1min} zkontrolujeme výpočtem. Potřebujeme k tomu hydraulický poloměr R_{1min} a rychlost materiálu v_{1min} padajícího z výpustného otvoru o minimální možné funkční velikosti.



Obr. 4.3 Největší a nejmenší pracovní plocha výpustného otvoru

$$R_{1\min} = \frac{S_{\text{výpmin}}}{o_{\text{výpmin}}} = \frac{\frac{\pi \cdot d_{\text{výpmin}}^2}{4}}{\pi \cdot d_{\text{výpmin}}} \quad [5]$$

$$R_{1\min} = \frac{\frac{\pi \cdot 0,09^2}{4}}{\pi \cdot 0,09} \quad (4.12)$$

$$R_{1\min} = 0,0225[\text{m}]$$

$$v_{1\min} = \sqrt{\frac{g \cdot R_{1\min}}{f_i}}$$

$$v_{1\min} = \sqrt{\frac{9,806 \cdot 0,0225}{0,8}} \quad [6] \quad (4.13)$$

$$v_{1\min} = 0,53[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$Q_{V1min} = S_{výpmin} \cdot v_{1min} = \frac{\pi \cdot d_{výpmin}^2}{4} \cdot v_{1min}$$

$$Q_{V1min} = \frac{\pi \cdot 0,09^2}{4} \cdot 0,53 \cdot 3600 \quad (4.14)$$

$$Q_{V1min} = 12,2[m^3 \cdot h^{-1}]$$

$$Q_{V1min} \geq Q_V$$

$$12,2m^3 \cdot h^{-1} > 12[m^3 \cdot h^{-1}] \quad (4.15)$$

4.4 Tlaky v zásobníku

Tlaky v zásobníku jsou počítány dle Janssena. Jejich velikost a průběh je vidět na Obr. 4.4. Pro výpočet napětí je potřeba znát hydraulické poloměry R [m] průřezů zásobníku a svodky, součinitel pasivního tlaku k [-], výšky hladin materiálu h [m] (Obr. 4.4) a součinitel vnitřního tření $f_i = 0,8$ [-].

$$R_0 = \frac{S_1}{o_1} = \frac{\frac{r^2}{2} \left(\frac{\pi \cdot \alpha}{180^\circ} - \sin \alpha \right)}{2 \cdot r \cdot \sin \left(\frac{\alpha}{2} \right) + \frac{\pi \cdot r \cdot \alpha}{180^\circ}}$$

$$R_0 = \frac{\frac{0,4^2}{2} \left[\frac{145^\circ}{180^\circ} \pi - \sin 145^\circ \right]}{2 \cdot 0,4 \cdot \sin \left(\frac{145^\circ}{2} \right) + \frac{\pi \cdot 0,4 \cdot 145^\circ}{180^\circ}} \quad [5]$$

$$(4.16)$$

$$R_0 = 0,09[m]$$

$$k = \frac{1 - \sin \varphi_i}{1 + \sin \varphi_i}$$

$$k = \frac{1 - \sin 37^\circ}{1 + \sin 37^\circ} \quad [31]$$

$$(4.17)$$

$$k = 0,25[-]$$

$$\sigma_{10} = \frac{\rho_s \cdot g \cdot R_0}{f_i \cdot k} \cdot \left(1 - \frac{1}{e^{\frac{f_i \cdot k \cdot h_1}{R}}} \right) [Pa]$$

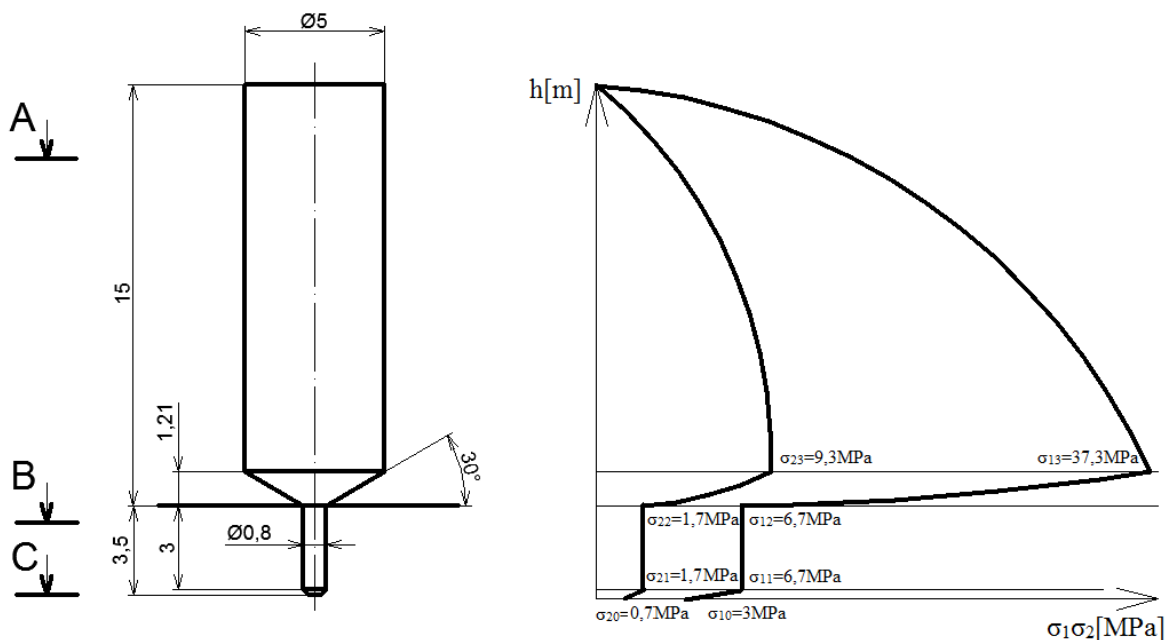
$$\sigma_{10} = \frac{684 \cdot 9,806 \cdot 0,09}{0,8 \cdot 0,25} \cdot \left(1 - \frac{1}{e^{\frac{0,8 \cdot 0,25 \cdot 18,5}{0,09}}} \right) \quad [31]$$

$$(4.18)$$

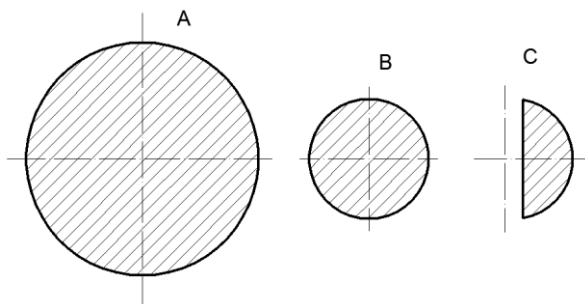
$$\sigma_{10} = 3020[Pa]$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{20} &= \sigma_{10} \cdot k \\
 \sigma_{20} &= 3020 \cdot 0,25 \\
 \sigma_{20} &= 755 [\text{Pa}]
 \end{aligned}
 \tag{4.19}$$

Ostatní hodnoty tlaků jsou vypočítány analogicky použitím výpočtu dle Janssena.



Obr. 4.4 Rozměry zásobníku [m] a graf tlaků v zásobníku



Obr. 4.5 Průřezy zásobníku, svodky a výpustného otvoru

4.5 Pracovní výška podavače

Zvolené předběžné parametry: vnitřní průměr podavače $D = 800$ [mm], průměr hřídele podavače $d = 70$ [mm], tloušťka lopatky $t = 5$ [mm], počet lopatek $i = 6$ [-].

$$\begin{aligned}
 S_p &= \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) - \frac{1}{2} \cdot (D - d) \cdot t \cdot i \\
 S_p &= \frac{\pi}{4} \cdot (0,8^2 - 0,07^2) - \frac{1}{2} \cdot (0,8 - 0,07) \cdot 0,005 \cdot 6
 \end{aligned}
 \tag{4.19}$$

$$S_p = 0,488[\text{m}^2]$$

$$h' = \frac{V_1 \cdot i}{S_p \cdot k_\phi}$$

$$h' = \frac{0,004.6}{0,488 \cdot 0,9}$$

$$h' = 0,055[\text{m}]$$
(4.20)

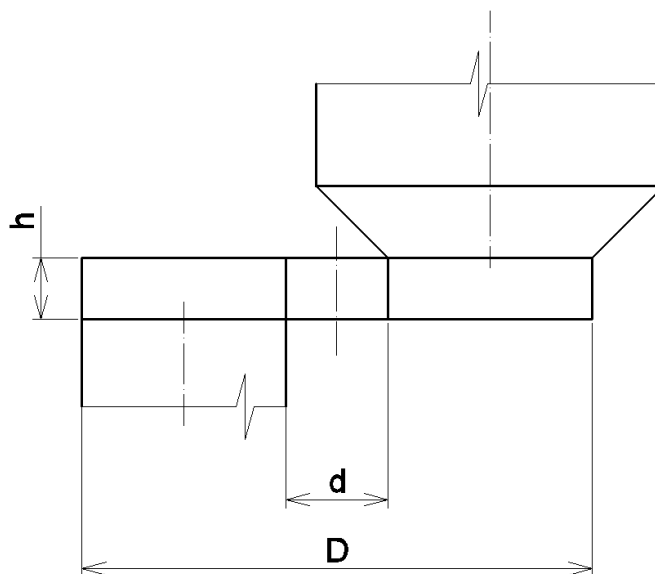
Minimální výška pracovního prostoru rotačního podavače je $h = 0,055 [\text{m}]$ při 90 [%] plnění pracovního prostoru komůrek materiálem. Výšku dopravního prostoru (Obr. 4.6) je lepší zvolit větší. Z důvodu menších odporů při nezaplnění komůrek až po horní okraj a taky možnosti zvýšit dopravované množství, které lze regulovat pomocí otáček a jehož horní hranice tak není limitována výškou podavače, respektive objemem komůrek. Dále se počítá s tím, že prachový podavač se v praxi navrhuje s 50 [%] rezervou na jmenovitou spotřebu paliva. Předpokladem je, že minimální plnění komůrek bude 70 [%].

$$h = \frac{h' \cdot 1,5}{0,7}$$

$$h = \frac{0,055 \cdot 1,5}{0,7}$$

$$h = 0,118[\text{m}]$$
(4.21)

Volím pracovní výšku komory $h = 0,130 [\text{m}]$.



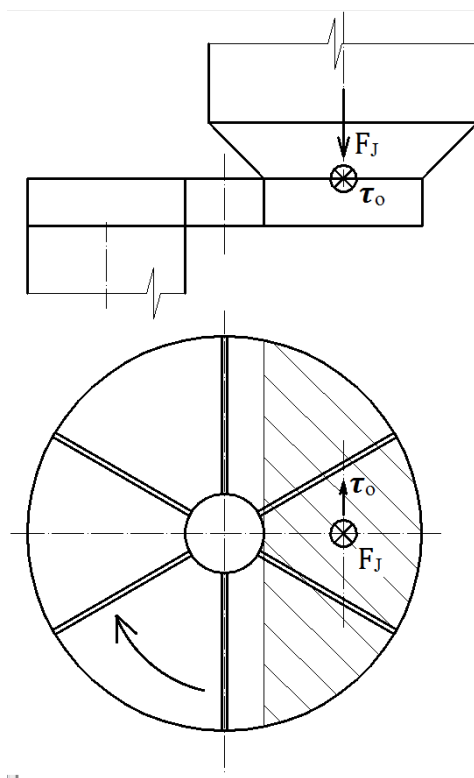
Obr. 4.6 Výška podavače

4.6 Síla potřebná k utržení vrstvy materiálu

K výpočtu potřebujeme Janssenovu sílu F_J ze svodky do podavače získanou výpočtem a vnější tření materiál – nerez $f_{wn} = 0,4$ [-].

$$F_J = \frac{\rho_s \cdot g \cdot R_0 \cdot S_1}{f_{wn} \cdot k}$$
$$F_J = \frac{684,9 \cdot 9,806 \cdot 0,09 \cdot 0,157}{0,4 \cdot 0,25}$$
$$F_J = 948[\text{N}]$$
(4.22)

$$F_{OT} = F_J \cdot f_i + \tau_o \cdot S_1$$
$$F_{OT} = 948 \cdot 0,8 + 1180 \cdot 0,157$$
$$F_{OT} = 944[\text{N}]$$
(4.23)



Obr. 4.7 Janssenova síla a smyková soudržnost materiálu

4.7 Síla vyvozená třením materiálu o boky podavače

Výpočet těžiště jedné komůrky naplněné materiálem (Obr 4.8).

$$S_1 = \pi \cdot r_1^2 \cdot \frac{\beta}{360^\circ} \quad [29]$$

$$S_1 = \pi \cdot 0,4^2 \cdot \frac{60^\circ}{360^\circ} \quad (4.25)$$

$$S_1 = 0,08377580[\text{m}^2]$$

$$x_1 = \frac{2}{3} \cdot r_1 \cdot \frac{\sin \frac{\beta}{2}}{\frac{\beta \cdot \pi}{2 \cdot 180^\circ}}$$

$$x_1 = \frac{2}{3} \cdot 0,4 \cdot \frac{\sin \frac{60^\circ}{2}}{\frac{60^\circ \cdot \pi}{2 \cdot 180^\circ}} \quad [29]$$

(4.26)

$$x_1 = 0,254647911[\text{m}]$$

$$S_2 = \pi \cdot r_2^2 \cdot \frac{\beta}{360^\circ}$$

$$S_2 = \pi \cdot 0,035^2 \cdot \frac{60^\circ}{360^\circ} \quad [29]$$

(4.27)

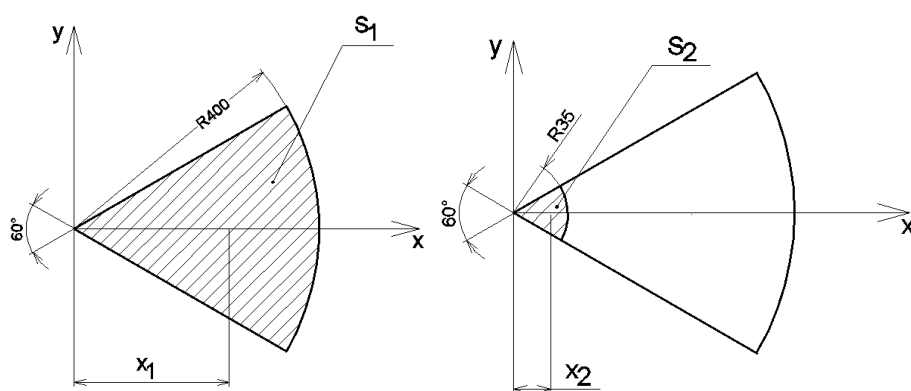
$$S_2 = 0,00064141[\text{m}^2]$$

$$x_2 = \frac{2}{3} \cdot r_2 \cdot \frac{\sin \frac{\beta}{2}}{\frac{\beta \cdot \pi}{2 \cdot 180^\circ}}$$

$$x_2 = \frac{2}{3} \cdot 0,035 \cdot \frac{\sin \frac{60^\circ}{2}}{\frac{60^\circ \cdot \pi}{2 \cdot 180^\circ}} \quad [29]$$

(4.28)

$$x_2 = 0,02228169[\text{m}]$$



Obr. 4.8 Plochy komůrky S_1 [m^2] a S_2 [m^2] a jejich těžiště

$$R_T = \frac{S_1 \cdot x_1 - S_2 \cdot x_2}{S_1 - S_2}$$

$$R_T = \frac{0,08377580 \cdot 0,25464791 - 0,00064141 \cdot 0,02228169}{0,08377580 - 0,00064141} \quad (4.29)$$

$$R_T = 0,256[\text{m}]$$

Výpočet odstředivé síly F_O [N] a Janssenovi síly F_{J2} [N].

$$F_O = 4 \cdot \rho_s \cdot V_1 \cdot \omega^2 \cdot R_T$$

$$F_O = 4 \cdot 684 \cdot 0,004 \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot 0,15^2 \cdot 0,256$$

$$F_O = 3[\text{N}] \quad (4.30)$$

$$F_{J2} = F_J \cdot k$$

$$F_{J2} = 1251 \cdot 0,25$$

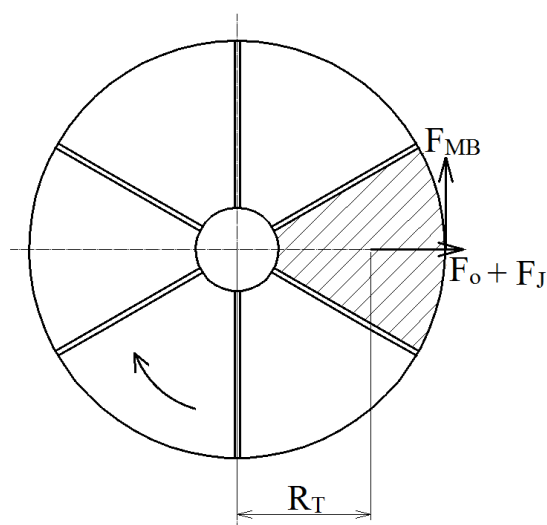
$$F_{J2} = 313[\text{N}] \quad (4.31)$$

Odpor třením materiálu o bok podavače

$$F_{MB} = F_O \cdot f_{wn} + F_{J2} \cdot f_{wn}$$

$$F_{MB} = 3 \cdot 0,4 + 313 \cdot 0,4$$

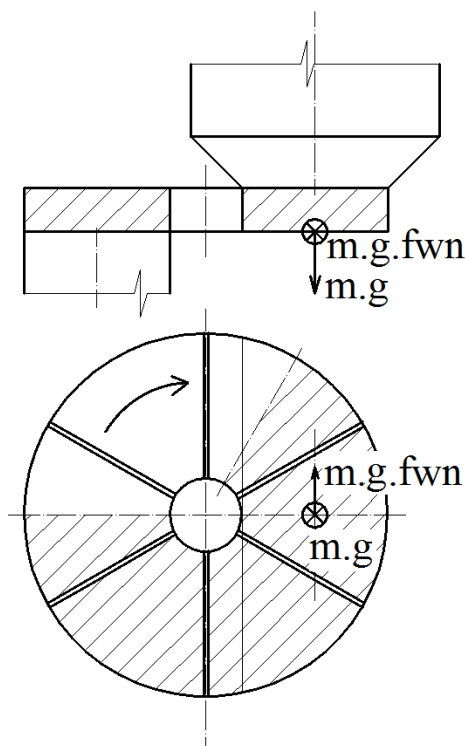
$$F_{MB} = 126[\text{N}] \quad (4.32)$$



Obr. 4.9 Odstředivá síla F_O a Janssenova horizontální síla, tření materiálu F_{MB} o bok podavače jedné komůrky

4.8 Síla vyvozená třením materiálu o dno podavače

$$\begin{aligned}
 F_{MD} &= 4 \cdot \rho_S \cdot V_1 \cdot g \cdot f_{wn} \\
 F_{MD} &= 4 \cdot 684 \cdot 0,004 \cdot 9,806 \cdot 0,4 \\
 F_{MD} &= 43[\text{N}]
 \end{aligned}
 \tag{4.33}$$



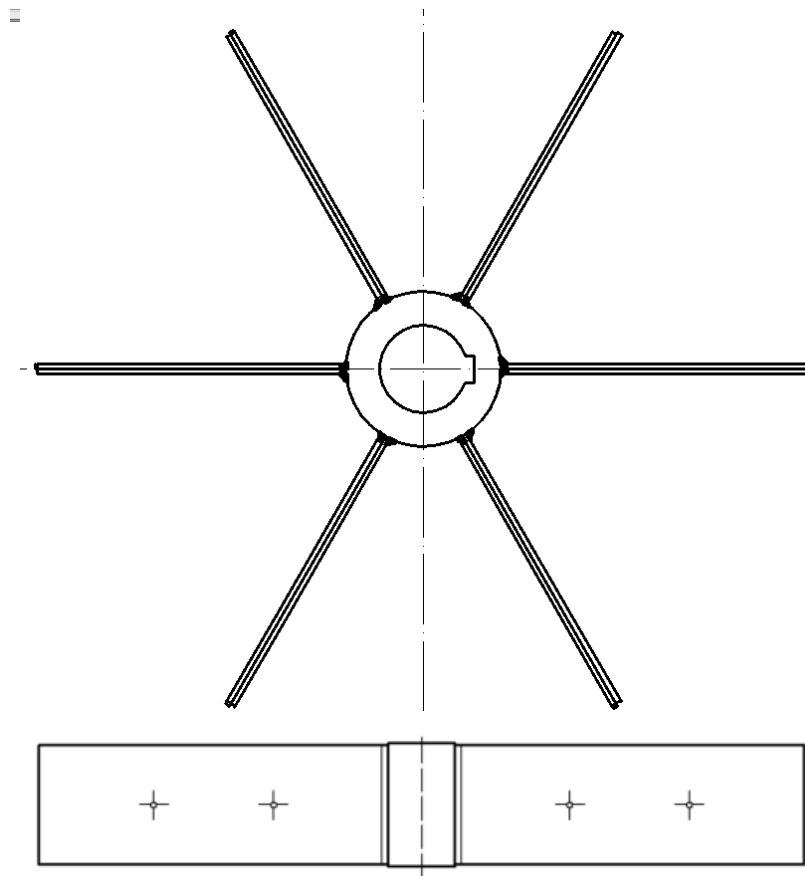
Obr. 4.10 Odpor třením materiálu o dno

4.9 Síla vyvozená třením lopatek o dno

Objemová hustota plastu Murtfeldt $\rho_p = 0,94 [\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}] = [0,94 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}]$ [25], součinitel tření mezi plastem Murtfeldt a nerezovou ocelí $f_{op} = 0,2 [-]$ [25].

Hmotnost celého lopatkového kola včetně svarů a plastových krytů $m_{lk} = 9,5 [\text{kg}]$ (zjištěno pomocí programu Inventor 2015).

$$\begin{aligned}
 F_{LD} &= m_{lk} \cdot g \cdot f_{op} \\
 F_{LD} &= 9,5 \cdot 9,806 \cdot 0,2 \\
 F_{LD} &= 19[\text{N}]
 \end{aligned}
 \tag{4.34}$$



Obr. 4.11 Schéma lopatkového kola

4.10 Potřebný příkon elektromotoru a jeho volba

$$F_c = F_{OT} + F_{MD} + F_{MB} + F_{LD}$$

$$F_c = 944 + 43 + 123 + 19$$

$$F_c = 1172[\text{N}]$$

(4.35)

$$M_p = F_c \cdot \frac{D}{2}$$

$$M_p = 1172 \cdot \frac{0,8}{2}$$

$$M_p = 469[\text{N} \cdot \text{m}]$$

(4.36)

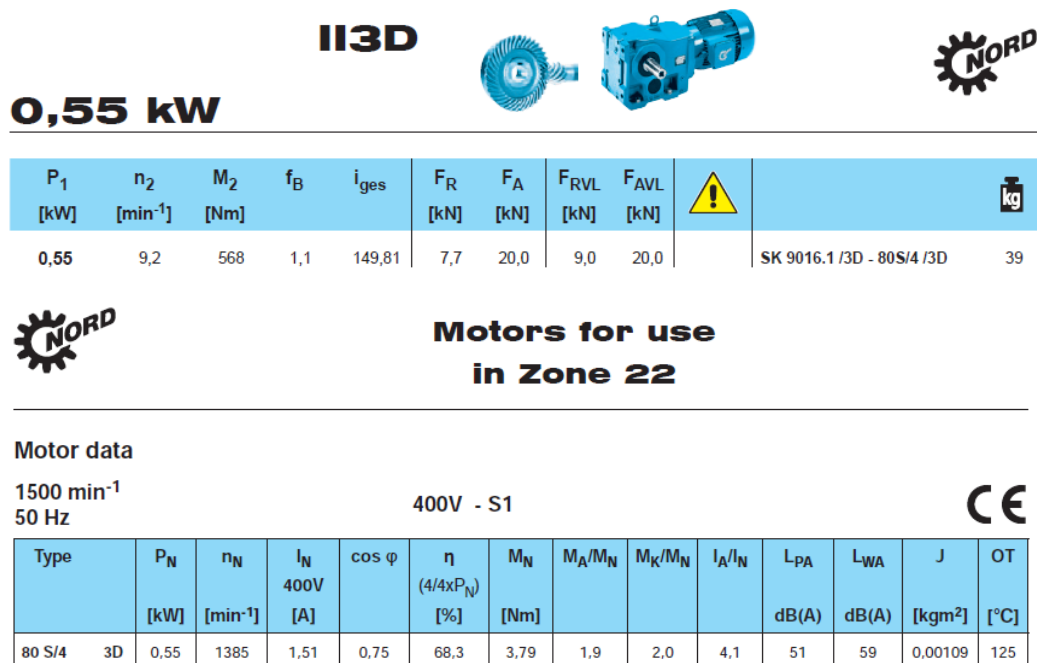
$$P_e = \frac{M_p \cdot \omega}{\eta}$$

$$P_e = \frac{469 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{9,26}{60}}{0,9}$$

$$P_e = 505[\text{W}]$$

[4]
(4.37)

Volím motor firmy NORD sk 9016.1/3D – 80S/4/3D. Motor je v provedení ATEX (zóna 22). Technické údaje motoru jsou na Obr. 4.12. Je napojen na kuželočelní převodovku s převodovým poměrem $i_{ges} = 149,81$ [-] Motor je připojen k frekvenčnímu měniči NORD SK 130 E.



Obr. 4.12 Parametry zvoleného motoru a výstupních hodnot na převodovce [33]

5 Konstrukční výpočty

5.1 Hřídel rotačního podavače a výpočet per

Hřídel není třeba kontrolovat, vzhledem k tomu, že její nejmenší průměr je stejný jako výstupní průměr hřídele převodovky. Největším konstrukčním vrubem tak jsou drážky pro pera. Jedno je opět stejné jako na výstupním hřídeli převodovky, tudíž není potřeba jej kontrolovat.

Druhé pero je pro spojení hřídele s lopatkovým kolem. Jeho rozměry jsou na Obr. 5.2. Je potřeba udělat návrh délky pera a jeho kontrolu na stříh. Šířka pera $b_p = 14$ [mm], výška pera v náboji $t_1 = 3,5$ [mm], průměr hřídele pod lopatkovým kolem $d_p = 45$ [mm], dovolený tlak ocel na ocel $p_{DP} = 120$ [MPa] [9], dovolené smykové napětí pro pero $\tau_{DSP} = 30$ [MPa] [9].

$$\begin{aligned} F_2 &= \frac{M_K}{\frac{d_p}{2} + \frac{t_1}{2}} \\ F_2 &= \frac{469}{\frac{45}{2} + \frac{3,5}{2}} \\ F_2 &= 19,34[\text{kN}] \end{aligned} \quad [9] \quad (5.1)$$

$$\begin{aligned} l_p' &= \frac{F_2}{p_{DP} \cdot t_1} \\ l_p' &= \frac{19340}{120 \cdot 3,2} \\ l_p' &= 46[\text{mm}] \end{aligned} \quad [9] \quad (5.2)$$

$$\begin{aligned} l_p &= l_p' + b_p \\ l_p &= 46 + 14 \\ l_p &= 60[\text{mm}] \end{aligned} \quad [9] \quad (5.3)$$

Volím délku pera dle ČSN 02 2562 $l_p = 63$ [mm]. Kontrola pera na stříh:

$$F_S = \frac{M_K}{\frac{d_p}{2}}$$

$$F_S = \frac{469}{\frac{45}{2}} \quad [9] \quad (5.4)$$

$$F_S = 20,8[\text{kN}]$$

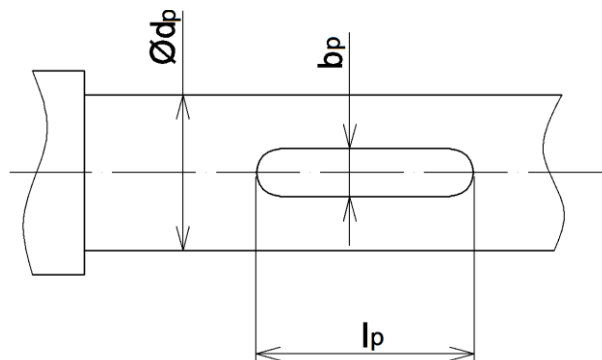
$$\tau_{SP} = \frac{F_S}{l_p \cdot b_p}$$

$$\tau_{SP} = \frac{20800}{63.14} \quad [9] \quad (5.5)$$

$$\tau_{SP} < \tau_{DSP} \quad (5.6)$$

$$23,6[\text{MPa}] < 30[\text{MPa}]$$

Pero vyhovuje.



Obr. 5.2 Rozměry pera pod lopatkovým kolem

5.2 Spojka mezi převodovkou a podavačem

Návrh a výpočet je proveden pro kotoučovou spojku.

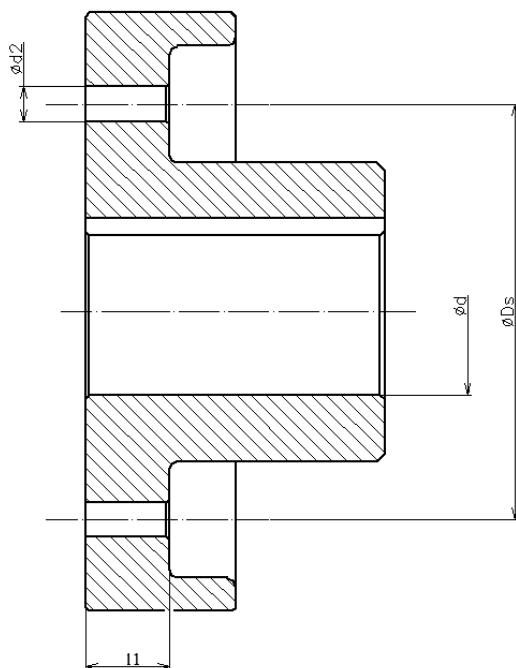
Určení výpočtového momentu. Součinitel bezpečnosti pro rotační dopravník a asynchronní motor s kotvou nakrátko je v rozmezí 1,3 až 1,7. Volím $K = 1,5 [-]$.

Krouticí moment M_p je výstupní moment na převodovce, $M_p = 568 [\text{N.m}]$

$$M_V = K \cdot M_p$$

$$M_V = 1,5 \cdot 568 \quad [9] \quad (5.7)$$

$$M_V = 852[\text{N.m}]$$



Obr. 5.3 Náčrtek jedné příruby kotoučové spojky

Minimální průměr hřídele volím stejný, jako je průměr hřídele na výstupu převodovky.

Válcový konec hřídele $d_h = 35$ [mm].

Síla na roztečné kružnici šroubů $D_s = 2,5 \cdot d_h = 2,5 \cdot 35 = 87,5$ [mm].

Počet šroubů $i_s = 6$ [-].

$$F = \frac{2M_V}{D_s}$$

$$F = \frac{2.852}{87,5} \quad [9] \quad (5.8)$$

$$F = 19,5[\text{kN}]$$

Síla na jeden šroub F_i [N]:

$$F_i = \frac{F}{i_s}$$

$$F_i = \frac{19500}{6} \quad [9] \quad (5.9)$$

$$F_i = 3250[\text{N}]$$

Výpočet dovoleného napětí šroubu. Šroub je třídy 4.6, součinitel statické bezpečnosti $k_s = 2$ [-].

$$\begin{aligned}\tau_{DS} &= \frac{0,577 \cdot R_e}{k_s} \\ \tau_{DS} &= \frac{0,577 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 10}{2} \\ \tau_{DS} &= 86,60 [\text{MPa}]\end{aligned}\quad [9] \quad (5.10)$$

Návrh šroubu na střih:

$$\begin{aligned}d' &= \sqrt{\frac{4F_i}{\pi \cdot \tau_{DS}}} \\ d' &= \sqrt{\frac{4 \cdot 3250}{\pi \cdot 86,6}} \\ d' &= 6,91 [\text{mm}]\end{aligned}\quad [9] \quad (5.11)$$

Volím šroub M10 x 120 ČSN 02 1111.10 – 10 370.

Kontrola šroubu na otláčení. Dovolené namáhání pro ocelové šrouby a ocelovou přírubu $p_D = 100$ až 120 [MPa], volím $p_D = 100$ [MPa]. Průměr dříku $d_3 = 11$ [mm] pro lícovaný šroub M10, délka dříku šroubu pod přírubou $l_1 = l_2 = 30$ [mm]. Skutečná délka dříku pod přírubou kvůli závitu $l_2 = 23,5$ [mm].

$$\begin{aligned}p_1 &= \frac{F_i}{S_{1s}} = \frac{F_i}{d_3 \cdot l_1} \\ p_1 &= \frac{3250}{11 \cdot 30} \\ p_1 &= 9,85 [\text{MPa}]\end{aligned}\quad [9] \quad (5.12)$$

$$\begin{aligned}p_1 &\leq p_D \\ 9,85 [\text{MPa}] &< 100 [\text{MPa}]\end{aligned}\quad (5.13)$$

$$\begin{aligned}p_2 &= \frac{F_i}{S_{2s}} = \frac{F_i}{d_3 \cdot l_2} \\ p_2 &= \frac{3250}{11 \cdot 23,5} \\ p_2 &= 12,57 [\text{MPa}]\end{aligned}\quad [9] \quad (5.14)$$

$$p_2 \leq p_D$$

$$12,57[\text{MPa}] < 100[\text{MPa}] \quad (5.15)$$

Spojení vyhovuje na otláčení.

Volím PERO 10e7x8x63 ČSN 02 2562, které je stejné jako u převodovky NORD.

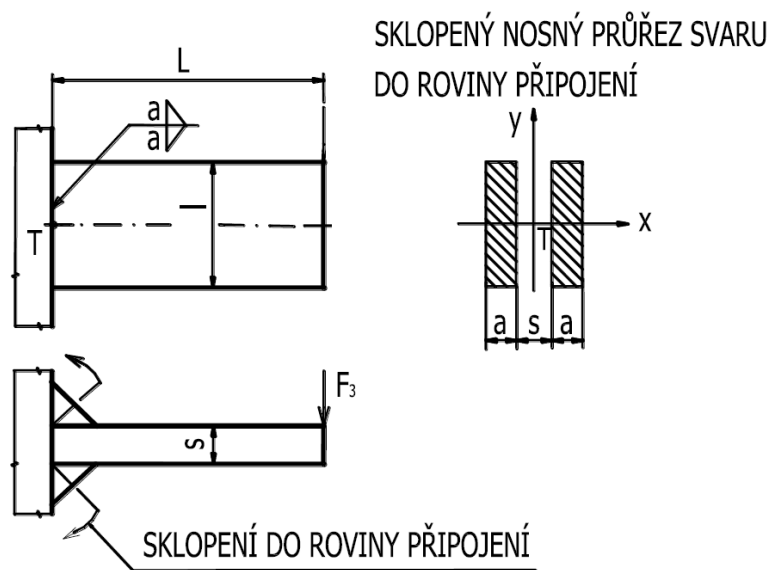
5.3 Výpočet svarového spoje lopatkového kola

Lopatky jsou z nerezové (korozi-vzdorné) oceli. Nerezové plechy jsou chromové slitiny se železem obsahující 12 až 30 [%] chromu, až 30 [%] niklu nebo do 24 [%] manganu při určitém množství molybdenu, křemíku, mědi, titanu, niobu, dusíku a jiných prvků. Chrom zajišťuje pasivitu těchto slitin. Proto je rozhodujícím prvkem pro dosažení odolnosti k celkové korozi. Mají vysokou hodnotu R_e [Pa], to znamená, že se jedná o pružný materiál.

Materiál lopatek ČSN 10088-1 1.4301 (X5CrNi 18-10), $R_M = 520-720$ [MPa], $R_{p0,2} = 210$ [MPa].

Svařování probíhá metodou TIG (141 – ISO 4063), v poloze ISO 6947-PF, elektrodou EN ISO 14343-A:G19 12 3 NbSi.

Kontrola pevnosti koutového svaru o délce $l' = 126$ [mm], $a = 5$ [mm], tloušťka lopatky $s = 3$ [mm], součinitel bezpečnosti $k_s = 1,5$ [-]. Celkové síla působící na lopatku $F_3 = F_c = 1172$ [N]. Všechny rozměry jsou zobrazeny na Obr. 5.3.



Obr. 5.4 Náčrtek svaru pro jeho kontrolu [9]

$$\begin{aligned}
t' &= 1,41 \cdot a \\
t' &= 1,41 \cdot 5 \\
t' &= 7,05 [\text{mm}]
\end{aligned}
\tag{9} (5.16)$$

$$\begin{aligned}
l &= l' - 2 \cdot 0,75 \cdot t' \\
l &= 126 - 2 \cdot 0,75 \cdot 7,05 \\
l &= 115,425 [\text{mm}]
\end{aligned}
\tag{9} (5.17)$$

$$\begin{aligned}
J_y &= 2 \cdot \left[\frac{1}{12} \cdot a^3 \cdot l + a \cdot l \cdot \left(\frac{s+a}{2} \right)^2 \right] \\
J_y &= 2 \cdot \left[\frac{1}{12} \cdot 5^3 \cdot 115,425 + 5 \cdot 115,425 \cdot \left(\frac{3+5}{2} \right)^2 \right] \\
J_y &= 20873 [\text{mm}^4]
\end{aligned}
\tag{9} (5.18)$$

$$\begin{aligned}
\tau_{\perp D} &= \frac{R_{p0,2}}{k_s} \\
\tau_{\perp D} &= \frac{210}{1,5} \\
\tau_{\perp D} &= 140 [\text{MPa}]
\end{aligned}
\tag{9} (5.19)$$

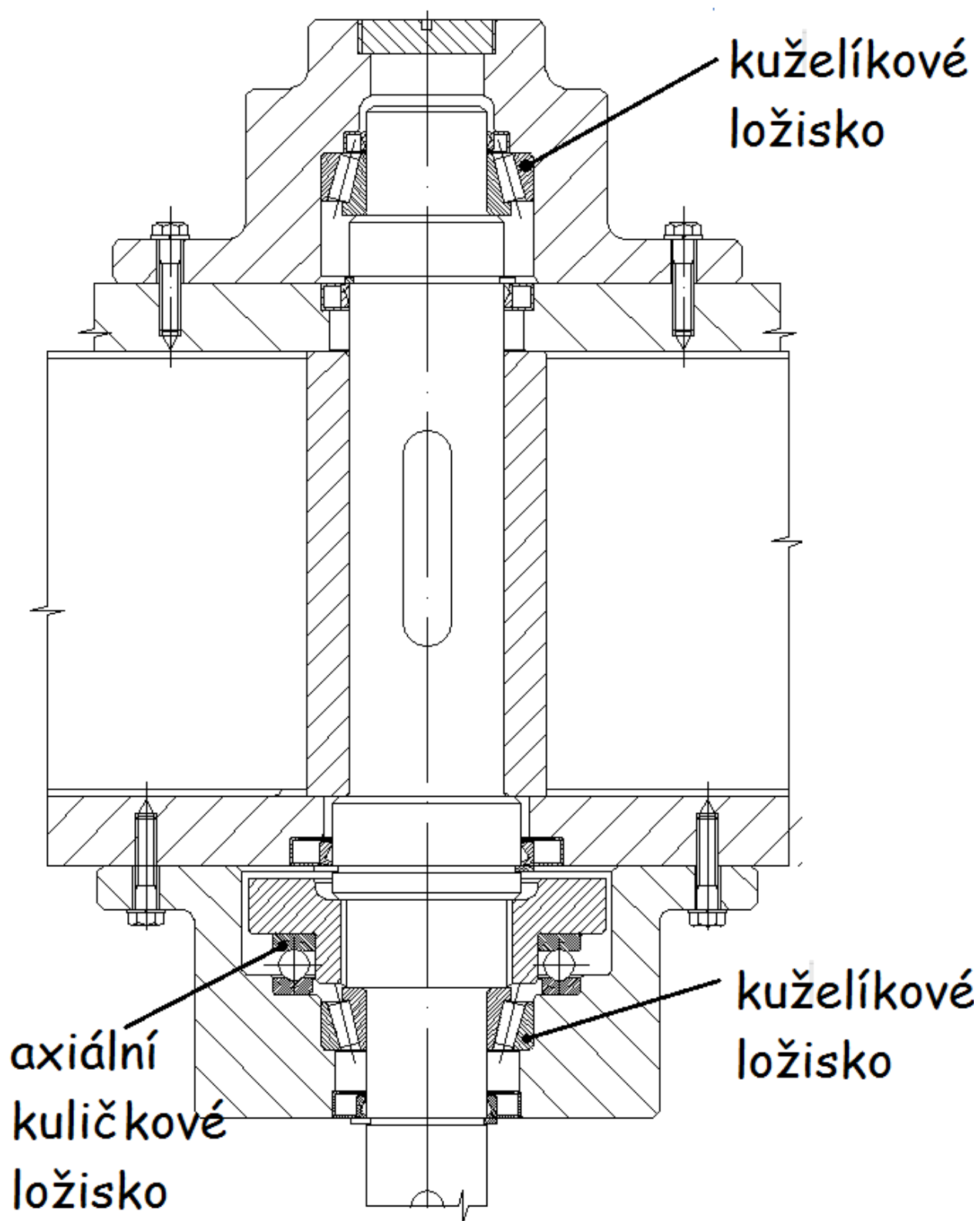
$$\begin{aligned}
\tau_{\perp} &= \frac{F_c \cdot L}{\frac{J_y}{\frac{s}{2} + a}} \\
\tau_{\perp} &= \frac{1172,363}{\frac{20873}{\frac{3}{2} + 5}} \\
\tau_{\perp} &= 132 [\text{MPa}]
\end{aligned}
\tag{9} (5.20)$$

$$\begin{aligned}
\tau_{\perp} &\leq \tau_{\perp D} \\
132 [\text{MPa}] &< 140 [\text{MPa}]
\end{aligned}
\tag{5.21}$$

5.4 Kontrola axiálního ložiska

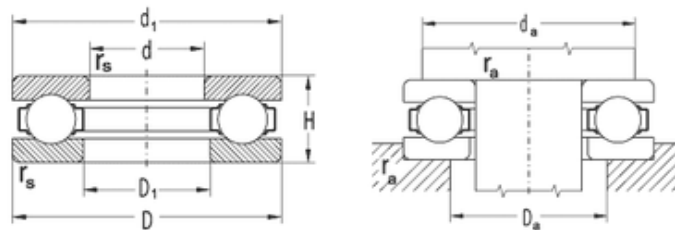
Zvolil jsem dvě soudečková ložiska a axiální ložisko firmy ZKL GROUP (Obr. 5.5). Jde o axiální kuličkové ložisko 51207, které zachycuje tíhu rotačních součástí v podavači. K výpočtu jsem použil katalogové listy ZKL GROUP. Zatěžující síla $F_a = 1100$ [N].

Minimální základní trvanlivost ložiska pro rotační dopravní zařízení je $L_{10h} = 40\,000 - 60\,000$ [h], čemuž zvolené ložisko vyhovuje (Obr. 5.6).



Obr. 5.5 Ložiska na podavači

51207



Hlavní rozměry						Základní únosnost		Mezní únavové zatížení	Mezní frekvence otáčení pro mazání	
d	D	d ₁	D ₁	H	r _s (min)	dynamic C _r	static C _{0r}	P _u	Plastické mazivo	Oleř
mm						kN		kN	min ⁻¹	
35	62	62	37	18	1	41.840	78.200	3.550	3 500	4 700

Označení ložiska	Připojovací rozměry				Hmotnost	Koeficient minimálního axiálního zatížení
	d	d _a	D _a	r _a		
	mm				kg	
51207	35	51	46	1	0.22	0.032

Výpočty

Základní trvanlivost 10⁶

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

C = 41.840 kN
P = 1.1 kN

$$L_{10} = 55029.7 \text{ 10⁶ot}$$

Výpočet L₁₀

Výpočet P

$$P_r = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

F_a = 1.1
F_r =

Výpočet P

Základní trvanlivost h

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n}$$

n = 9.26

$$L_{10h} = 99045496.9 \text{ h}$$

Výpočet L_{10h}

Upravená trvanlivost pro spolehlivost (100-n) %

$$L_{na} = a_1 \cdot a_{23} \cdot L_{10}$$

a₂₃ = 0.2
a₁ = 90% ▼

$$L_{na} = 11005.9 \text{ 10⁶ot}$$

Vypočítat spolehlivost

Obr. 5.6 Výpočet kuličkového axiálního ložiska firmy ZKL [32]

6 Konstrukční řešení

6.1 Technologický popis

Navrhnul jsem zařízení, které bude využíváno k vynášení materiálu ze zásobníku s plochým dnem. Tento podavač byl navržen za předpokladu, že skladovaným materiálem v zásobníku bude prachové uhlí, jehož mechanicko-fyzikální vlastnosti jsem stanovil měřeními v LSH VŠB-TU Ostrava. Vynašeč je možné využít i k vynášení jiných sypkých materiálů s podobnými mechanicko-fyzikálními vlastnostmi a velikostí zrna. Změnou víka lze upravit vstupní otvor podavače. Změnou otáček je dále možno upravit dopravované množství komůrkového podavače.

Podavač se skládá z částí umístěných uvnitř a mimo něj. Uvnitř podavače je hřídel s ložisky a lopatkové kolo, které je na hřídeli zajištěno perem. Vnější část se skládá z těla podavače, ve kterém probíhá hnutí materiálu od vstupního otvoru směrem k výstupnímu. Tato činnost se děje pomocí lopatek lopatkového kola. Lopatkové kolo tvoří trubka s přivařenými lopatkami. Tělo je v horní části zakrytováno a je pevně spojeno s násypkou. Spodní část těla podavače je tvořen výsypkou. Ta se dál napojuje na práškovod prachového uhlí. Příruby uzavírají tělo podavače v místě výstupů hřídele. Jsou pevně spojeny s tělem a zároveň slouží pro uložení ložisek a zachycení sil působících na ně. Horní příruba je zakončena víčkem, pod kterým po odšroubování je místo pro vsazení inbusu do hřídele. Poté je schopné pomocí tohoto klíče s hřídelí a lopatkovým kolem otáčet. Krouticí moment je vytvářen elektromotorem s frekvenčním měničem a dále kuželočelní převodovkou hnán ke spojce. Frekvenční měnič umožňuje měnit rychlost otáčení. Změna otáček může být použita ke změně dopravovaného množství materiálu. Krouticí moment z výstupní hřídele převodovky na hřídel podavače převádí spojka.

7 Závěr

Navrhnul jsem zařízení pro dávkování prachového uhlí. Ve své bakalářské práci jsem se zaměřil na rotační turniketové podavače, ze kterých jsem vybral vertikální turniketový podavač, nebo-li komůrkový podavač.

Komůrkový podavač je umístěn pod svodkou, která je napojena na zásobník. Dopravovaný materiál je prachové uhlí. Jeho mechanicko-fyzikální vlastnosti jsou sypná hmotnost $\rho_s = 648 \text{ [kg.m}^{-3}\text{]}$, součinitel vnitřního tření $f_i = 0,8 \text{ [-]}$, počáteční smyková soudržnost $\tau_0 = 1180 \text{ [Pa]}$.

Podavač o vnitřním průměru $D = 0,8 \text{ [m]}$ a výšce $h = 0,13 \text{ [m]}$ je navržen pro dopravované množství $Q_v = 12 \text{ [m}^3\text{.h}^{-1}\text{]}$. Poháněn je elektromotorem firmy NORD Drivesystems řady SK 9016.1/3D – 80S/4/3D v provedení ATEX (zóna 22) o výkonu $P_e = 550 \text{ [W]}$ s kuželočelní převodovkou o převodovém poměru $i_{ges} = 149,81 \text{ [-]}$. Motor je vybaven frekvenčním měničem NORD SK 130 E, který umožňuje změnu otáček pro úpravu dopravovaného množství materiálu. Přenos krouticího momentu z hnací hřídele na hnanou je pomocí spojky.

Výkresová dokumentace k mé bakalářské práci a návrhu podavače je uvedena v příloze.

8 Použitá literatura a zdroje

8.1 Požitá literatura

- [1] Jasaň, V.: *Teória dopravných a manipulačných zariadení*. Bratislava: TU Košice, Alfa Bratislava, 1989. 374s.
- [2] Pešat, Z.: *Manipulace v hutích*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1992. 165s.
- [3] Polák, J., Pavliska, J., Slíva, A.: *Dopravní a manipulační zařízení I*. Ostrava: ES VŠB-TUO, 2001. 99s.
- [4] Polák, J., et al.: *Dopravní a manipulační zařízení II*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2003. 104s.
- [5] Slíva, A., et al.: *Dopravní a manipulační zařízení III*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2005. 133s.
- [6] Medek, J.: *Mechanické pochody*. Brno: Fakulta strojní VUT v Brně, 1998.
- [7] Dražan, F.: *Teorie a stavba dopravníků*. Praha: České vysoké učení technické, 1983. 290s.
- [8] Dražan, F., Jeřábek, K.: *Manipulace s materiálem*. Praha: SNTL Praha, 1978. 454s.
- [9] Kaláb, K.: *ČÁSTI A MECHANISMY STROJŮ: Části spojovací*. VŠB-TU Ostrava, 2014. 115s.
- [10] Vávra, P., kolektiv: *Strojírenské tabulky*. Praha: SNTL Praha, 2008. 914s.
- [11] *Laboratoř sypkých hmot VŠB-TU Ostrava*

8.2 Internetové odkazy

- [12] Optimizing feeding systems. [online]. [cit. 2015-12-8]. Dostupné z: <http://www.intechopen.com/books/assembly-line-theory-and-practice/optimizing-feeding-systems>
- [13] Desing and application of feeders for controlled loading of bulk solids. [online]. [cit. 2015-12-8]. Dostupné z: <http://www.saimh.co.za/beltcon/beltcon2/paper27.html>
- [14] Plastic Technology. [online]. [cit. 2015-12-8]. Dostupné z: <http://www.ptonline.com/kc/articles/Plastics-Feeding/rotary-valvedelumper>
- [15] TAISEI company of powder and granular materials handling equipment. [online]. [cit. 2015-12-8]. Dostupné z: <http://www.taisei-mfg.com/english/>

- [16] Lipták, B. G.: Proces control and optimization. CRC Press, 2006. [online]. [cit. 2015-12-8]. Dostupné z: <https://www.crcpress.com/>
- [17] FUNKEN POWTECHS specilized manufakturer for quantitive feeders. [online]. [cit. 2015-12-8]. Dostupné z: <http://www.funken.co.jp/english/>
- [18] Feeder devices. [online]. [cit. 2015-12-8]. Dostupné z: http://www.cementline.com/impeller_feeder/
- [19] Rotary feeder. [online]. [cit. 2015-12-8]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Rotary_feeder
- [20] Variable rate feeder. [online]. [cit. 2015-12-8]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Variable_rate_feeder
- [21] [online]. [cit. 2015-12-8]. Dostupné z: <http://www.gimtas.com.tr/>
- [22] [online]. [cit. 2015-12-8]. Dostupné z: <http://www.nucon.com/>
- [23] [online]. [cit. 2015-12-8]. Dostupné z: <http://www.rotaryvalve.com/Rotary-Airlock-Valves/rotary-airlock-feeders>
- [24] [online]. [cit. 2015-12-8]. Dostupné z: <http://mid.uk.com/>
- [25] Katalog firmy Murtfeldt. [online]. [cit. 2015-3-28]. Dostupné z: <http://www.murtfeldt.cz/>
- [26] [online]. [cit. 2015-4-17]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/>
- [27] [online]. [cit. 2015-4-17]. Dostupné z: <http://www.okweld.cz/>
- [28] [online]. [cit. 2015-4-17]. Dostupné z: <http://www.euro-inox.org/>
- [29] [online]. [cit. 2015-4-17]. Dostupné z: <http://fyzikalniolympiada.cz/>
- [30] [online]. [cit. 2015-4-17]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/>
- [31] [online]. [cit. 2015-4-17]. Dostupné z: <http://projekt150.ha-vel.cz/>
- [32] Katalog firmy ZKL. [online]. [cit. 2015-4-17]. Dostupné z: <http://www.zkl.cz/cs>
- [33] Katalog firmy NORD DRIVESYSTEMS [online]. [cit. 2015-4-17]. Dostupné z: https://www.nord.com/cms/cz/hp_home_CZ.jsp
- [34] [online]. [cit. 2015-4-17]. Dostupné z: <http://www.tespoes.cz/>

8.3 Výkresová dokumentace

Komůrkový podavač	DIV0024-S1-00
Hřídel	DIV0024-S1-05
Maticový kroužek	DIV0024-S1-04

8.4 Seznam příloh

PŘÍLOHA A	Granulometrie prachového uhlí LSH VŠB-TU Ostrava
PŘÍLOHA B	Úhel vnitřního tření prachového uhlí LSH VŠB-TU Ostrava
PŘÍLOHA C	Úhly vnějšího tření prachového uhlí vůči dalším materiálům LSH VŠB-TU Ostrava

PŘÍLOHA A



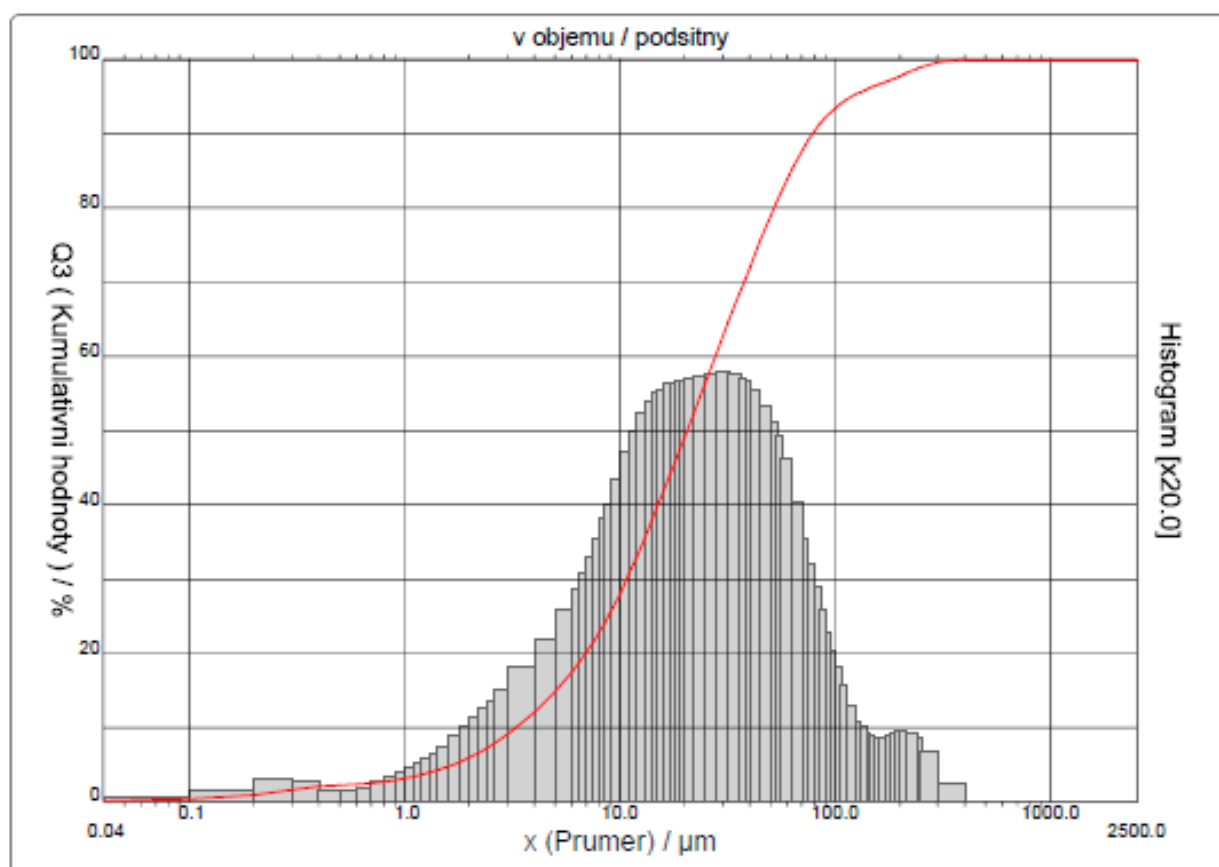
DISTRIBUCE VELIKOSTI CASTIC

CILAS 1190 Kapalina

Rozsah : 0.04 μm - 2500.00 μm / 100 Tridy

Oznaceni vzorku : Práškové uhlí
Sample Name : Tepláma Karvina
Sample type :
Komentare :
Kapalina : Ethanol
Disperzni prostredek :
Operator : Gelnar-Žurovec
Tovarna :
Misto :
Hodnoty : 07.11.2013Cas : 11:57:15
Index mereni : 809
Database name : CilasDB1

Ultrazvuk : 60 s
Obscurations : 12 / 0.23 %
Prumer pri 10% : 3.28 μm
Prumer pri 50% : 20.52 μm
Prumer pri 90% : 78.91 μm
Prumerny prumer : 35.96 μm
Fraunhofer
Hustota/Faktor :
Specificky povrch :
Automaticke redeni : Ne / Ne
Mereni/Vyplach : 60s/60s/1
SOP name : měření mokrá cesta 7.11.2013



Seriove cislo : 3534 Ref : 2.r244.m0.88A1818/7.00/809lm137.12.20.40.1Ph.20.20.40.8hVQ-.0.0.0.0/600.0.15.g10.0.15.10.1.10.P7200.27.80.P29.0/V 9.33/635



DISTRIBUCE VELIKOSTI CASTIC

CILAS 1190 Kapalina

Rozsah : 0.04 μm - 2500.00 μm / 100 Tridy

Oznaceni vzorku : Práškové uhlí
 Sample Name : Tepláma Karvina
 Sample type :
 Komentare :
 Kapalina : Ethanol
 Disperzni prostredek :
 Operator : Gelnar-Žurovec
 Tovarna :
 Misto :
 Hodnoty : 07.11.2013Cas : 11:57:15
 Index mereni : 809
 Database name : CilasDB1

Ultrazvuk : 60 s
 Obscurations : 12 / 0.23 %
 Prumer pri 10% : 3.28 μm
 Prumer pri 50% : 20.52 μm
 Prumer pri 90% : 78.91 μm
 Prumerny prumer : 35.96 μm
 Fraunhofer
 Hustota/Faktor :
 Specificky povrch :
 Automaticke redeni : Ne / Ne
 Mereni/Vyplach : 60s/60s/1
 SOP name : měření mokrá cesta 7.11.2013

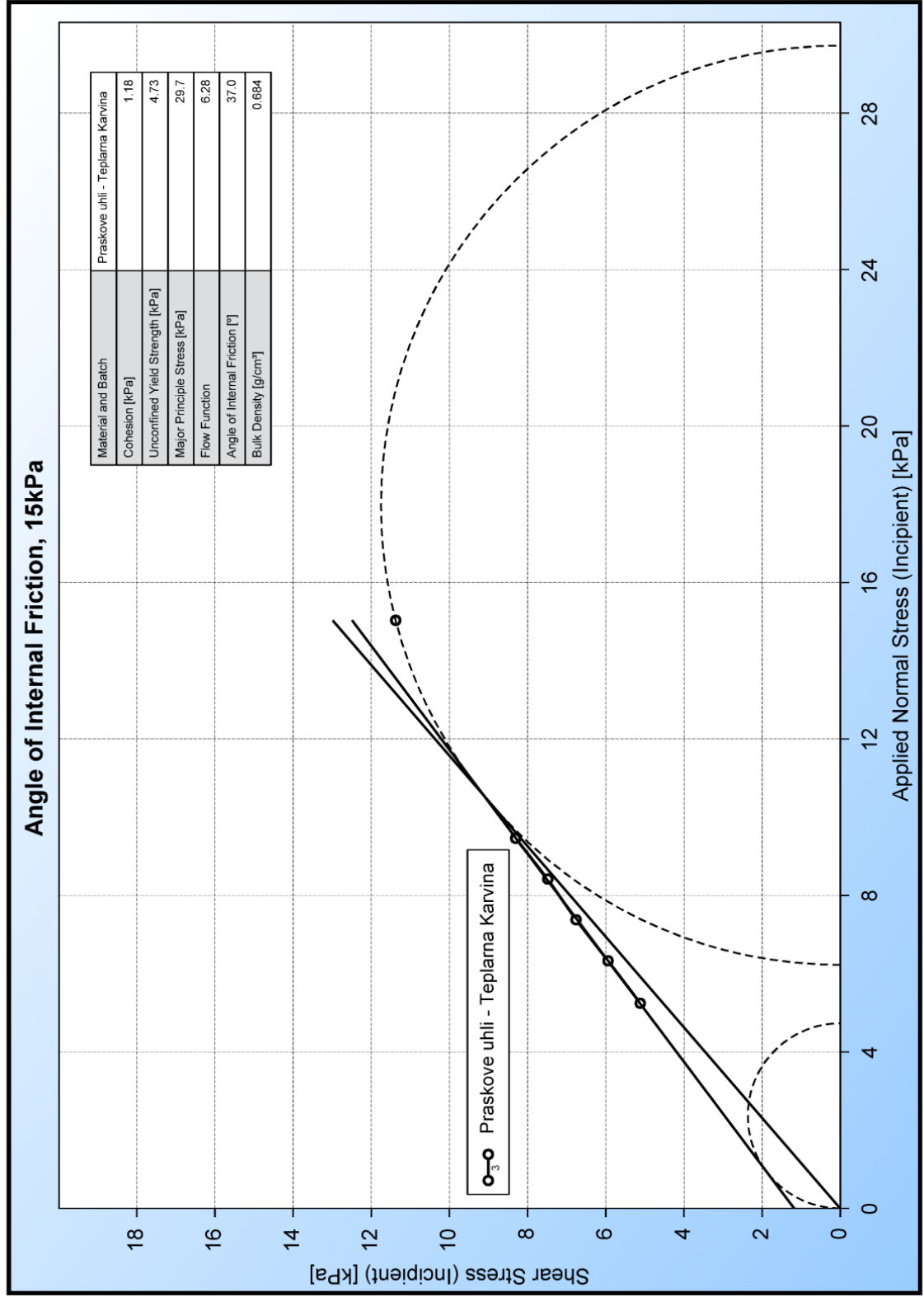
Standardni tridy

v objemu / podsitny

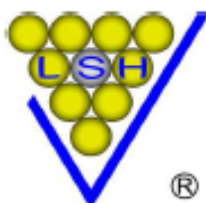
x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.11	0.31	0.42	0.94	1.64	2.06	2.24	2.38	2.53	2.73
q3	0.02	0.03	0.03	0.07	0.15	0.13	0.07	0.07	0.08	0.13
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	2.96	3.20	3.44	3.70	3.96	4.23	4.79	5.38	5.99	6.61
q3	0.17	0.20	0.22	0.26	0.28	0.32	0.37	0.44	0.51	0.57
x	2.40	2.60	3.00	4.00	5.00	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00
Q3	7.23	7.85	9.08	12.07	14.87	17.55	18.86	20.16	21.46	22.76
q3	0.62	0.68	0.75	0.91	1.09	1.28	1.43	1.53	1.64	1.76
x	8.50	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
Q3	24.08	25.39	28.00	30.57	33.05	35.45	37.73	39.91	41.96	43.91
q3	1.90	2.00	2.16	2.35	2.49	2.62	2.68	2.76	2.77	2.81
x	18.00	19.00	20.00	22.00	25.00	28.00	32.00	36.00	38.00	40.00
Q3	45.75	47.50	49.16	52.26	56.45	60.19	64.61	68.49	70.25	71.91
q3	2.81	2.82	2.82	2.84	2.86	2.88	2.89	2.87	2.84	2.82
x	45.00	50.00	53.00	56.00	63.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00
Q3	75.64	78.85	80.55	82.10	85.20	87.96	89.07	90.25	91.25	92.09
q3	2.76	2.66	2.55	2.46	2.30	2.01	1.77	1.60	1.44	1.28
x	95.00	100.0	106.0	112.0	125.0	130.0	140.0	145.0	150.0	160.0
Q3	92.79	93.38	93.98	94.47	95.27	95.51	95.93	96.11	96.28	96.60
q3	1.13	1.00	0.90	0.78	0.64	0.53	0.49	0.45	0.44	0.43
x	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	242.0	250.0	300.0	400.0	500.0
Q3	96.90	97.19	97.47	97.75	98.06	98.75	98.91	99.62	100.00	100.00
q3	0.43	0.44	0.45	0.48	0.46	0.45	0.43	0.34	0.12	0.00
x	600.0	700.0	800.0	900.0	1000.0	1100.0	1200.0	1300.0	1400.0	1500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	1600.0	1700.0	1800.0	1900.0	2000.0	2100.0	2200.0	2300.0	2400.0	2500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : Prumer / μm Q3 : kumulativni hodnota / % q3 : density distribution

PŘÍLOHA B



PŘÍLOHA C



LABORATOŘ SYPKÝCH HMOT

VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

www.LSH.vsb.cz

PROF. ING. JIŘÍ ZEGZULKA, CSc.; LABORATOŘ SYPKÝCH HMOT, VŠB - TECHNICKÁ
UNIVERZITA OSTRAVA, 17. LISTOPADU 15/2172, 708 33 OSTRAVA - PORUBA
TEL. +420 597 324 379 FAX: +420 596 994 330 E-mail: jiri.zegzulka@vsb.cz

Měření mechanicko – fyzikálních vlastností

Datum měření:	Měřil:	Vzorek:
28.11.2013	Ing. Jiří Rozbroj	práškové uhlí

Tabulka výsledků měření			Tabulka naměřených hodnot			
Kontaktní materiál	φ_w [deg]	koef.	Závaží [ks]	Hardox Sw [N]	Nerez Sw [N]	Ocel Sw [N]
Hardox	31.20	0.61	4	34.05	25.19	29.12
Nerez	22.02	0.40	8	60.05	42.62	50.1
Ocel	26.61	0.50	12	87.05	59.12	71.91
Plast	18.98	0.34	16	114.9	73.8	94.6
Přiz	34.50	0.69	Závaží [ks]			
Smalt	28.78	0.55	Sw [N]			
			4	19.15	39.48	33.2
			8	34.48	68.88	55.98
			12	49.11	99.2	78.64
			16	65.35	129.35	102.86

Souhrnný graf k měření úhlu vnějšího tření

